

# **ADAPTIIVISEN VALAISTUKSEN SUUNNITTELU JA OHJAUS**

Käytävien valaistus



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Valkeakosken kampus, Sähkö- ja automaatiotekniikka, Insinööri (AMK)

kevät, 2020

Aleksi Himanka ja Linda Karppinen

Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Valkeakoski

---

<b>Tekijät</b>	Aleksi Himanka ja Linda Karppinen	<b>Vuosi</b> 2020
<b>Työn nimi</b>	Adaptiivisen valaistuksen suunnittelu ja ohjaus	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Timo Viitala, Timo Väisänen	

---

## TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja mahdollisesti toteuttaa adaptiivinen valaistus HAMKin Valkeakosken A-rakennukseen. Suunnitteluvaiheessa kävi ilmi, että toteutus ei tapahdu tämän opinnäytetyön aikana. Tämän opinnäytetyön pohjalta valaistuksen suunnittelu ja ohjelmointi on mahdollista toteuttaa suunnittelualueelle. Opinnäytetyössä tehtiin simulointimalli, jonka avulla voidaan toteuttaa koko alueen valaistuksen ohjaus. Opinnäytetyössä olevan DIALux-mallin avulla valaisimien paikat ja kappalemäärät ovat tiedossa sekä toteutettavissa, jos suunnitelma toteutetaan.

Järjestelmästä haluttiin suunnitella mahdollisimman energiatehokas, koska nykyinen valaistusjärjestelmä on vanha eikä sisällä tarvittavaa automaatiota. Nykyisestä valaistuksesta ei löydy ajankohtaista dokumentaatiota, sillä kyseistä aluetta on remontoitu, mutta uudistuksia ei ole dokumentoitu. Energiatehokkuuden saavuttamiseksi tutkittiin valaisimen himennyksen vaikutuksia tehonkulutukseen ja valonmäärään. Näiden mitaustulosten avulla ohjattiin valaisimet vaadittuun kirkkaustasoon, mutta samalla pitämällä tehonkulutus mahdollisimman alhaisena.

Komponentteina käytettiin koululla olevia EnOcean-antureita, DALI-valaisimia ja Beckhoff PLC -logiikkaa. PLC valittiin toimeksiantajan puolesta ja muut komponentit olivat itse päätettävissä. Myös kaapeloinnissa haluttiin hyödyntää nykyistä kaapelointia ja välttää langattomuudella uutta kaapelointia. Valituista komponenteista saatiin yhtenäinen toimiva järjestelmä, missä useat eri teknologiat toimivat keskenään.

**Avainsanat** Adaptiivinen valaistus, Beckhoff, DALI, DIALux

**Sivut** 60 sivua, joista liitteitä 7 sivua

Electrical and Automation engineering  
Valkeakoski

---

<b>Authors</b>	Aleksi Himanka and Linda Karppinen	<b>Year</b> 2020
<b>Subject</b>	Design and control of adaptive lighting	
<b>Supervisors</b>	Timo Viitala, Timo Väisänen	

---

ABSTRACT

The objective of this thesis was to design and possibly implement adaptive lighting at Häme UAS Valkeakoski building A. In the design phase it turned out that implementation would not take place during this t.project. In the t.project a simulation model was made which could be used to implement lighting control throughout the planning zone. With the DIALux model presented in this thesis the installation site and the number of lights are shown and can be implemented if the plan is put into practice.

The system was designed to be as energy efficient as possible because the current lighting system was outdated and did not contain any automation. There was no current documentation for the lighting because the area had been renovated but the changes had not been documented. To achieve energy efficiency, the effect of dimming the lighting was studied as to how this would affect power consumption and the amount of light. With the help of these measurements the lights were adjusted to the required brightness level and by keeping power consumption as low as possible at the same time.

The components used were the available Beckhoff PLC logic, EnOcean sensors and DALI lights. The PLC was selected on behalf of the client and the other components were chosen by the authors. In the cabling system the idea was to utilize existing cabling and to avoid new cabling using wireless technology. The selected components were found to function uniformly as a system where several different technologies work together.

**Keywords** Adaptive lighting, Beckhoff, DALI, DIALux.

**Pages** 60 pages including appendices 7 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	SUUNNITTELUKOHTEN ESITTELY JA VISIO .....	2
3	RAKENNUSAUTOMAATIO .....	3
3.1	Rakennusautomaation perinteinen järjestelmä .....	4
3.2	Hajautettu järjestelmä ja järjestelmän integrointi .....	6
3.3	Ohjaustavat .....	6
4	LANGATON OHJAUS.....	7
4.1	ZigBee .....	8
4.2	EnOcean .....	10
5	ADAPTIIVINEN VALAISTUS.....	11
5.1	Toiminta ja käyttökohteet.....	11
5.2	Liiketunnistus .....	12
6	VALONOHJAUSJÄRJESTELMÄ .....	12
6.1	DALI .....	12
6.1.1	Kapasiteetti.....	13
6.1.2	Liitäntälaitteet ja kaapelointi .....	13
6.1.3	Asennus .....	13
6.2	KNX .....	14
6.2.1	Kytkeä ja rakenne.....	15
6.2.2	Ohjelmointi .....	17
7	VALAISTUKSEN TEORIA.....	18
7.1	Valonjakokäyrä.....	18
7.2	Luksi ja Lumen .....	19
7.3	Valaistusvaatimukset .....	19
7.4	LED-tekniikka .....	21
8	ENERGIATEHOKKUUS .....	23
8.1	Energiatehokkuus automaatiassa .....	23
8.2	Energiatehokkuus valaistuksessa .....	24
9	OHJELMOITAVA LOGIIKKA .....	25
10	SUUNNITTELUOHJELMAT .....	26
10.1	DIALux.....	26
10.2	CADMATIC Electrical .....	28
11	OHJELMOITAVAN LOGIIKAN JA OHJAUSPROTOKOLLAN VALINTA.....	29

12 KÄYTÄNNÖN MITTAUKSET .....	32
12.1 EnOcean-laitteiden kuuluvuus .....	32
12.2 Valaisimen tehonkulutus.....	33
12.3 Lux-mittaukset.....	36
13 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU.....	38
13.1 Valaisimien valinta .....	38
13.2 Valaisimien sijoitus.....	39
13.3 Sähkösuunnittelu .....	42
14 ADAPTIIVISEN OHJAUKSEN SUUNNITTELU.....	44
14.1 Antureiden valinta ja sijoitus.....	44
14.2 Ohjauksen suunniteltu toiminta .....	46
14.3 Takaisinmaksu .....	49
15 OHJAUKSEN TOTEUTUS .....	50
15.1 EnOcean-kortin ja laitteiden määrittäminen .....	52
15.2 DALI-kortin ja laitteiden määrittäminen .....	54
15.3 Mittausohjelma .....	57
15.4 Aikaohjaus .....	58
16 YHTEENVETO .....	59
LÄHTEET .....	61

## Liitteet

Liite 1	Auditorion ympärillä olevan käytävän DIALux-tulokset 80 % kirkkaudessa.
Liite 2	Auditorion ympärillä olevan käytävän DIALux-tulokset 20 % kirkkaudessa.
Liite 3	Aulan ja auditorionedustan DIALux-tulokset 80 % kirkkaudella.
Liite 4	Aulan ja auditorionedustan DIALux-tulokset 20 % kirkkaudessa.
Liite 5	Kirjaston käytävän DIALux-tulokset 80 % kirkkaudessa.
Liite 6	Kirjaston käytävän DIALux-tulokset 20 % kirkkaudessa.
Liite 7	Valaisimen tehon mittaustaulukko.

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja mahdollisesti toteuttaa HAMK Valkeakosken yksikön A-talon ensimmäisen kerroksen käytävien älykäs ja adaptiivinen valaistus. Tällä hetkellä käytävien valaistus on manuaalisesti ohjattavissa kytkimien avulla. Tämä johtaa siihen oletukseen, että valaistus voi olla pahimmillaan päällä vuorokauden ympäri. A-talosta kerätään kosteus- ja lämpötilatietoja luokista ja käytävistä. Kerätty data tallennetaan Beckhoffin pyörittämään tallennustilaan, mutta tietoa ei käytetä mihinkään. Valaistuksen ohjauksessa ei käytetä tällä hetkellä automaatiota. Energiatehokkuuden lisäämiseksi automatisoidaan käytävien valaistus valonohjausjärjestelmän avulla. Eri ohjaustavoilla pyritään pääsemään kompaktiin ratkaisuun, jossa antureiden avulla voidaan reaaliaikaisesti säätää tarvittavan valon määrää. Tavoitteena on välttää ylimääräistä kaa pelointia hyödyntämällä langattomia tekniikoita.

Työtä tutkitaan rakennusautomaation kautta, sillä älykäs valaistus on osa tätä järjestelmää. Suunnitelmasta halutaan tehdä hajautettu järjestelmä, jossa voidaan käyttää useita erilaisia teknologioita. Valaistuksen teorian kautta käydään läpi vaaditut standardit ja vaatimukset. LED-tekniikka on nykypäivää ja nopeasti kehittyvä teknologia ja se on energiatehokkaampi kuin esimerkiksi loisteputket ja halogeenivalaisimet. Automaatio PLC-logiikan valinta perustuu kohteen vaatimuksiin ja siihen, mitä talossa on tällä hetkellä käytössä.

Alexi Himanka tutkii PLC-logiikan ohjausta ja ohjelmointia. Hän myös kirjoittaa rakennusautomaatiosta (poissulkien ohjaustavat, jonka Karppinen on kirjoittanut) ja erilaisista langattomista tekniikoista. Himanka suunnittelee valaistuksen tasokuvat sekä valaistuksen ohjelmoinnin. Tasokuvissa käytetään CADMATIC-ohjelmaa.

Linda Karppinen tutkii adaptiivista valaistusta ja erilaisia valonohjausjärjestelmiä. Karppinen suunnittelee liikkeentunnistimien asennuskohdat. Tutkimusalueeseen kuuluu valaistuksen teoria sekä käytettävien komponenttien valinta. Valaisimien sijoitus ja niiden kappalemäärä määritetään DIALux-ohjelman avulla, mikä on osa Karppisen työtä. Valaistuksen suunnittelu ja adaptiivisen ohjauksen suunnittelu ovat myös Karppisen osuutta.

Yhteiseen tutkimustyöhön kuuluu osio suunnittelukohteen nykytilanteesta ja visiosta ja energiatehokkuudesta. Himanka keskittyy energiatehokkuuteen automaatiassa ja Karppinen puolestaan valaistuksessa. Suunnitteluohjelmastosio on myös yhteinen tutkimusalue, jossa Himanka kirjoittaa CADMATIC-suunnitteluohjelman teoriasta ja sillä suunnittelemisesta ja Karppinen DIALux-suunnitteluohjelman käytöstä ja sen toiminnasta. Tiivistelmä, abstract, johdanto, käytännön mittaukset ja yhteenvedo on kirjoitettu yhdessä.

## 2 SUUNNITTELUKOHTTEEN ESITTELY JA VISIO

Hämeen ammattikorkeakoulun kampuksia on useita, mutta tässä työssä keskitytään Valkeakosken kampuksen A-talon ensimmäisen kerroksen käytäviin. A-talon osoite on Lotilantie 16 ja rakennus toimii sähkö- ja automaatiotekniikan opiskelutiloina sekä arkisin että viikonloppuisin.

Tällä hetkellä A-talossa ei ole automaatiota, jolla ohjattaisiin valaistusta. Valaisimet käytävissä ovat joko halogeeni- tai energiansäästölamppuja. Osassa valaisimista saattaa olla DALI-valmius, mutta tämä ei ole varmaa, sillä valaisinluettelo ei välttämättä pidä paikkaansa. Kuvassa 1 näkyy osa sähkökuvaa, jossa valaisimet on sijoitettu eri paikkaan kuin niiden tämänhetkiset asennuspaikat.



Kuva 1. Sähkökuvien vertaaminen nykytilanteeseen

Sähköpiirustusten mukaan valaisinpositiossa 1 on loisteputkivalaisin, mutta jonkun muutostyön aikana positio 1 on muutettu halogeenialasvaloksi, eikä tätä muutosta ole tehty valaisinluetteloon. Luettelosta löytyy vastaavanlainen alasvalo, mutta eri positionumerolla. Käytävillä on myös useita rikkiäisiä tai käyttämättömiä valaisimia. Kuvassa 2 on esimerkki tällaisesta tilanteesta, jossa käytävä on liian pimeä eikä vastaa valaistusvaatimuksia.



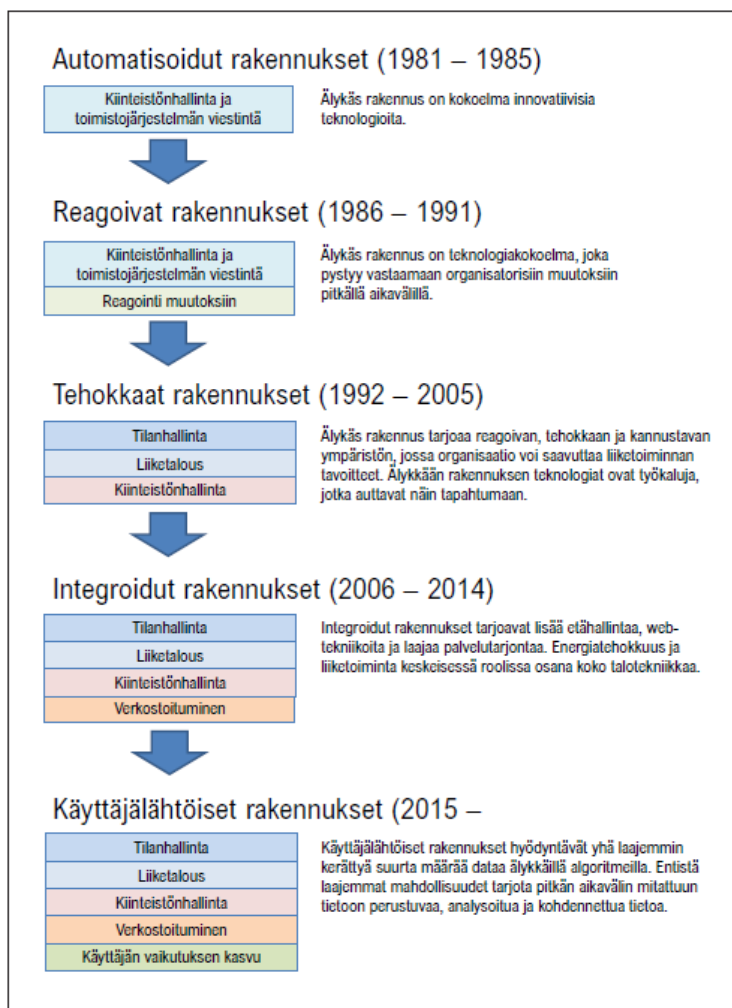
Kuva 2. Käytävän rikkiäiset ja käyttämättömät valaisimet.

Tarkoituksena on saada valaistuksesta yhtenäinen, toimiva ja energiatehokas kokonaisuus, joka tuottaa tarvitun valon tarvittaessa käytäville, jotka ovat tällä hetkellä liian pimeät. Tämä on toteutettavissa erilaisilla antureilla riippuen halutusta ohjaustavasta. Ideana on myös poistaa yleisestä käytöstä manuaalinen valaistuksen ohjaus ja mahdollistaa se esimerkiksi vain opettajanhuoneesta. Jos manuaalinen ohjaus toteutetaan langattomalla tekniikalla, on mahdollista sijoittaa anturit ja kytkimet haluttuun paikkaan muuttamatta kaapelointia. Valaisimien kirkkautta voidaan muuttaa tilapäisesti paikoissa, joissa on enemmän tarvetta valolle, kuten säilytyskaappien läheisyydessä.

### 3 RAKENNUSAUTOMAATIO

Rakennusautomaatio alkoi varsinaisesti kehittymään 1980-luvulla, kun digitaaliset signaalit otettiin käyttöön tiedonsiirrossa ja ohjelmoinnissa. Digitaalisen tiedonsiirron myötä tietokoneet ja valvomot yleistyivät. Tämä vähensi vikojen mahdollisuutta, kun kaapeloinnin määrä väheni ja useita eri kiinteistöjä kytkettiin yhteen valvomoon. Aluksi järjestelmät olivat suljettuja. Eri valmistajat kehittivät omia järjestelmiä eikä niitä voinut yhdistää toisen valmistajan kanssa. Kuvassa 3 rakennus automaation kehitys vuodesta 1981 – nyt. Kaapelointi ja tiedonsiirto mahdollisuudet ovat parantuneet huomattavasti nykypäivänä eri standardien ja teknologioiden ansiosta. (Sähkötieto ry, 2018, ss. 14–17)



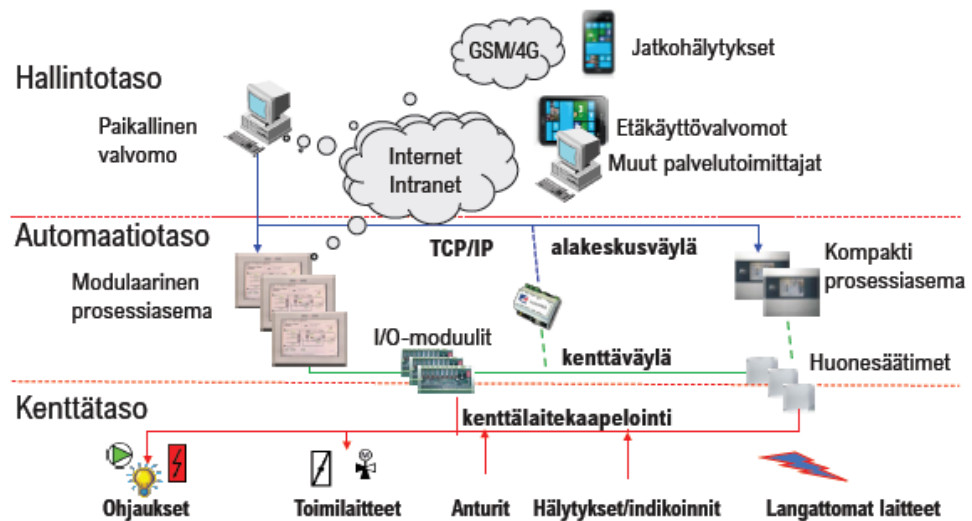


Kuva 3. Rakennusautomaation kehitys vuodesta 1981–nykypäivään. (Sähkötieto ry 2018, s.18)

Rakennusautomaatio on keskeinen osa energiatehokkuutta ja rakennukselta vaaditaan jonkinlaista automaatiota, että voidaan saavuttaa säästöjä energiankulutuksessa. Hyvin suunniteltu järjestelmä ylläpitää ihanteelliset sisäolosuhteet rakennuksessa. Olennainen asia automaatiossa on saada oikeaa, mitattua tietoa käyttäjälle. Järjestelmän tehtävä on suorittaa erilaisia ohjauksia ja säätöjä, jotka perustuvat mittauksiin. (Sähkötieto ry, 2018, s. 21)

### 3.1 Rakennusautomaation perinteinen järjestelmä

Automaatiojärjestelmän rakenteeseen vaikuttavat eri järjestelmät mitä kohteessa ovat käytössä, kuten talouden- ja laatuja järjestelmät. Yleensä rakennusautomaatio käsittelee perinteisesti lämmityksen, veden ja ilmanvaihdon. Nykyään tässä on mukana sähkö ja automaatio muodostaen kokonaisuuden LVISA. Hierarkia rakenne on edelleen yksi yleinen rakennusautomaatiojärjestelmän muodoista. Kuvassa 4 on esitelty tämä järjestelmä, mikä koostuu yleensä kolmesta eri tasosta, kenttätaso, automaatio-taso ja hallintotaso. (Sähkötieto ry, 2017, ss. 9–10)



Kuva 4. Perinteinen hierarkia rakenne. (Sähkötieto ry 2018, s. 61)

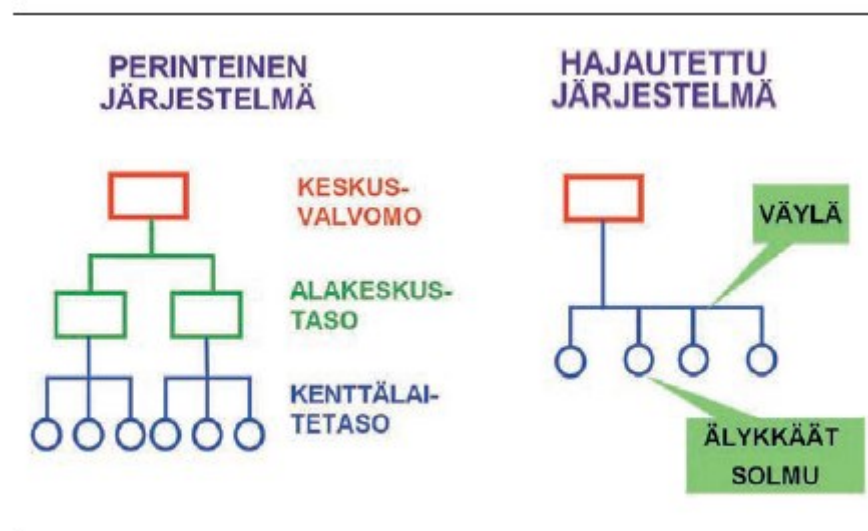
Hallintotasolla käyttäjä voi hallita järjestelmän toimintaa, joka yleensä tapahtuu tietokoneen välityksellä käyttäen käyttöliittymää HMI (Human machine interface) tai eri valvomo ohjelmistojen avulla. Ohjelmiston avulla käyttäjä saa tarkat tiedot prosesseista ja voi ohjata näitä manuaalisesti. Valvomot toimivat yleensä Ethernet-väylällä, joka mahdollistaa myös etävalvonnan ja se pohjautuu TCP-IP internet protokollaan. Se tarjoaa nopean ratkaisun, mutta tuo omat tietoturvariskinsä mukana. (Sähkötieto ry 2018, ss. 59–60)

Automaatiotasolla on itsenäisiä alakeskuksia ja näihin liittyviä I/O-moduuleita. Alakeskus ohjaa prosessia tai ohjelmaa I/O-porttien välityksellä. Tieto tähän tulee kenttätasolta eri toimilaitteilta ja yksittäistä mittausta voidaan hyödyntää usean eri alakeskuksen välillä. Tiedonsiirto tapahtuu LAN-verkon avulla tai paikallisen Ethernet-verkon avulla hyödyntäen standardisoitua CAT 6 kaapelointia. On myös mahdollista siirtää dataa käyttäen langatonta verkkoa, varsinkin jos halutaan hyödyntää mobiilia käyttölaitetta. (Sähkötieto ry, 2018, ss. 60–61)

Kenttätasoon kuuluvat esimerkiksi toimilaitteet, anturit, valaistus ja turvalaitteet. Näiden tehtävä on välittää mitattua tietoa ja antaa tarkkaa mitaustietoa prosessin tilasta. Alakeskus vertaa näitä arvoja asetettuihin arvoihin ja tekee näiden perusteella tarvittavat säädöt. Nämä kommunikoivat yleensä kenttäväylien kautta, jotka riippuvat käytettävästä laitteesta. (Sähkötieto ry, 2018, s. 61)

### 3.2 Hajautettu järjestelmä ja järjestelmän integrointi

Hajautetussa järjestelmässä laitteet jaetaan pienempiin kokonaisuuksiin ja jokainen laite toimii itsekseen omilla mitatuilla tiedoilla. Tämä mahdollistaa usean eri valmistajan tuotteiden käytön, kun käyttää avoimia ja standardisoituja tiedonsiirtoprotokollia. Kuvassa 5 on verrattu tätä hierarkia järjestelmään. Hajautettu järjestelmä ei ole niin altis vikatilanteille, kun laitteet eivät ole riippuvaisia toisistaan. (Sähkötieto ry, 2017, ss. 16–17)



Kuva 5. Kahden järjestelmän rakenteet. (Sähkötieto ry 2017, s. 16)

Järjestelmä integraatiolla tarkoitetaan eri järjestelmien yhdistämistä toisiinsa. Näitä voidaan yhdistää eri tasoilla esimerkiksi eri automaattisia toimintoja. Integraatiolla voidaan vähentää järjestelmien päällekkäisyyksiä ja tehdä toteutuksista yksinkertaisempia. Järjestelmän integraatio voi vähentää kustannuksia ja tuoda säästöjä, kun hyödynnetään samaa tietoa eri säädöissä. Tulevaisuuden kannalta integroituun järjestelmään voidaan lisätä helpommin eri laitteita. Se tuo myös oman haasteensa, sillä järjestelmästä tulee monimutkaisempaa. (ST 682.10/2018, s. 2)

### 3.3 Ohjaustavat

Valojen ohjaustapoja on useita ja niiden avulla valojen ohjaus onnistuu juuri halutulla tavalla. Yksi ohjaustavoista on paikallisohjaus, jossa valonsäätö tapahtuu yhdestä ohjauspisteestä. Tällaisessa tilanteessa kyseessä on yleensä kojeriasäädin, joka sijoitetaan vanhan kytkimen tilalle. Näiden teho on 10-1200 W:n välillä. Ohjaus on yleisesti kiertokytkin, jossa on joko painokytkin, vääntökytkin tai liukusäädin. Suurempi tehoiset säätimet sijoitetaan yleensä keskuksiin ja ne ovat ohjattavissa analogisilla kytkimillä. (ST 58.31/2016, s. 9)

Rinnakkaisohjauksella tarkoitetaan tilannetta, jossa valaisinta tai valaisinryhmää voidaan ohjata useasta paikasta. Rinnakkaisohjauksen voi

toteuttaa useammalla eri tavalla kuten mm. kojerasioilla, hajautetuilla kenttäväylillä ja suorapainikeohjauksella. (ST 58.31/2016, s. 9)

Langattomalla ohjauksella tarkoitetaan asennusta, jossa ei kaapeleita kytkeä ollenkaan. Tämä sopii varsinkin rakennuksiin, joissa vältellään turhien kaapeleiden vetämistä. Yleisin tapa toteuttaa langaton ohjaus on infrapunaohjaus. Ainoa kaapeloitava osuus langattomassa infrapunajärjestelmässä on IR-vastaanotin. IR-lähtetimen kantomatka on riippuvainen sen lähetystehosta, mutta alue on yleisesti 10-25 m:n välillä. (ST 58.31/2016, s. 10)

Radio-ohjaus on uusimpia teknologioita langattomassa ohjauksessa. Yleisesti radio-ohjaus käyttää radiotaajuutenaan 433 MHz:ä, koska juuri tämä taajuus on vapaasti kaupallisessa käytössä, joten erillistä lupaa ei tarvita. Häiriöiden mahdollisuus on siis olemassa, kun sama taajuus on vapaasti käytettävissä. Onkin varmaa, että tulevaisuudessa langaton ohjaustapa tulee lisääntymään merkittävästi. Langalliset ratkaisut eivät sitä vastoin tule myöskään katoamaan. (ST 58.31/2016, s. 10)

## 4 LANGATON OHJAUS

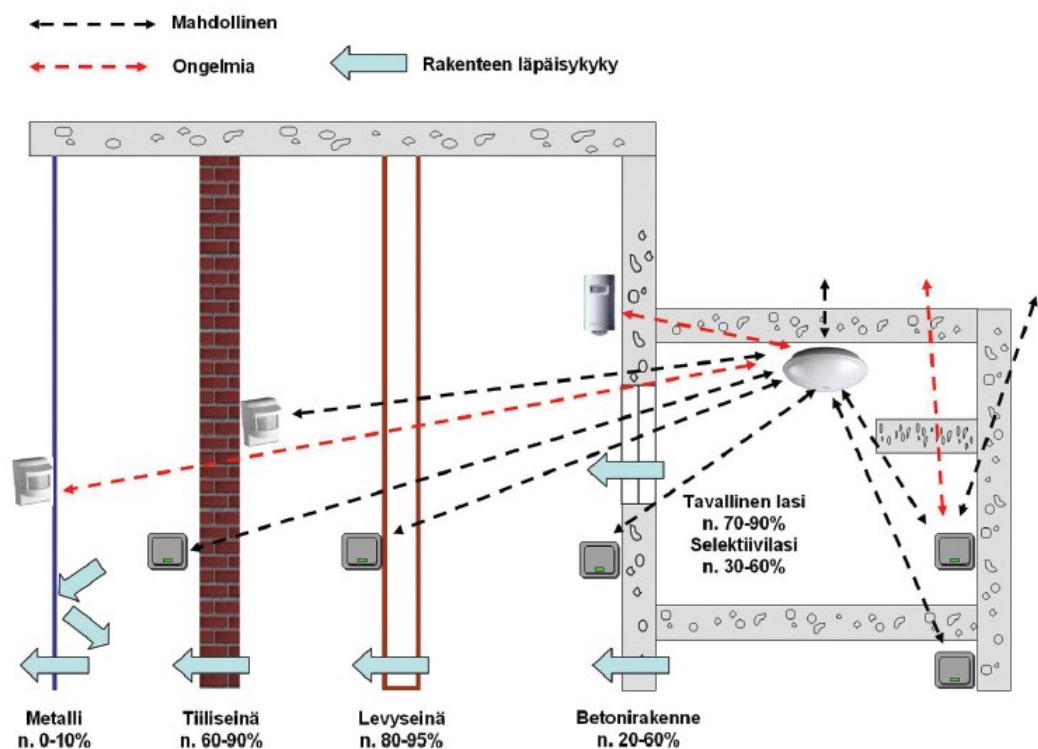
Langaton tekniikka on kehittynyt ja yleistynyt rakennuksen automaation ohjauksessa. Langaton verkko vähentää kaapeloinnin tarvetta ja näin voidaan tehdä suurempia säästöjä ja mahdollisesti tehdä järjestelmästä tehokkaampaa. Eri komponentit ja anturit voidaan sijoittaa joustavammin, kun ei vaadita fyysistä yhteyttä laitteiden välillä ja se tekee samalla asennuksesta helpompaa. Langatonta ohjausta ei tule sekoittaa langattomaan lähiverkkoon (WLAN), jolla on eri vaatimukset datan siirtonopeudelle ja viiveelle. Automaatiossa käytettävä informaatio on paljon vähäisempää ja siirtonopeudet ovat hitaampia ja viive ei ole niin tärkeässä asemassa. (ST 701.57/2016, ss. 1–2)

Vaikka laitteet voivat toimia langattomalla ohjauksella, ne voivat usein vaatia toimiakseen myös akkuja tai paristoja. Osa laitteista voivat vaatia 230 V verkkovirran toimiakseen, kuten esimerkiksi ABB free@home. On olemassa myös laitteita, jotka eivät vaadi erillistä virransyöttöä, vaan toimivat itse tuotettavalla energialla. Nämä kaikki täytyy ottaa huomioon, kun suunnitellaan ohjaustapaa.

Langattomilla verkoilla on useita eri standardeja ja säädöksiä mitä ne noudattavat ja näin varmistetaan niiden toimivuus eri laitevalmistajien kesken. Yleisin standardi liittyy WLAN-standardiin IEEE 802.11 joka on käytössä maailmanlaajuisesti. Tämän lisäksi löytyy useita eri standardoimattomia laitteita, jotka ovat eri valmistajien tekijöiltä. Euroopassa löytyy kolme eri lisensoimatonta taajuusaluetta mitä käytetään rakennusautomaatiossa, 433 MHz, 868 MHz ja 2,4 GHz. Näillä taajuuksilla saadaan lähettää vain

digitaalista signaalia. Valmistajilla voi olla omia standardeja esimerkiksi ZigBee:llä 2.4 GHz alueella ja EnOcean:lla 868 MHz alueella. (ST 701.57/2016, ss. 2–3)

Signaalin vahvuus ja toimintaetäisyys riippuu käytettävästä teknologiasta, yleensä sisätiloissa se on 10-100 metriä. Tähän täytyy ottaa huomioon, kuinka monen esteen läpi signaalin täytyy kulkea ja mitä materiaalia esteet ovat. Jos laitteilla on näköyhteys ja ei ole esteitä silloin signaali kulkee huomattavasti paremmin. Kuvassa 6 on esitelty signaalin läpäisy eri rakenteissa ja siihen liittyviä ongelmia. Toimilaitteiden ja antureiden välinen etäisyys vaikuttaa esimerkiksi siirtonopeuteen. Suurilla etäisyyksillä on pienempi siirtonopeus. Tarkemman tuloksen saamiseksi täytyy varmistaa signaalit mittaamalla ja ottaa se huomioon jo suunnittelu vaiheessa. (ST 701.57/2016, s. 3)



Kuva 6. Signaalin vaimennus eri rakenteissa. (Sähkötieto ry 2016)

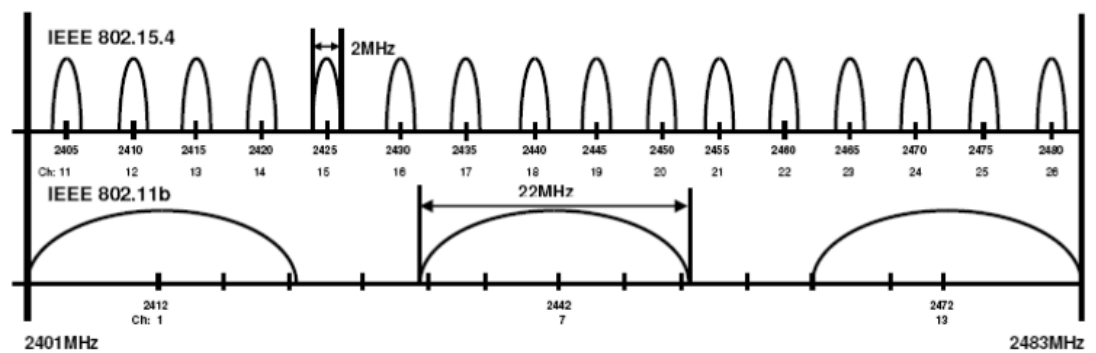
Langattomassa verkossa on myös omat haasteensa, kuten vaimennus ja kantama, toiset langattomat järjestelmät ja tietoturva. Tietoturva tulee ottaa huomioon, sillä langattomiin järjestelmiin on ulkopuolisen henkilön helpompi päästä sisään verrattuna kaapelia kulkevaan dataan. (ST 701.57/2016, s. 7)

#### 4.1 ZigBee

ZigBee toimii 2,4 GHz taajuusalueella langaton tekniikka. Se perustuu standardiin IEEE 802.15.4 minkä avulla laitteet keskustelevalt keskenään. Ominaista ZigBee-laitteilla on vähäinen virrankulutus ja tiedonsiirto on

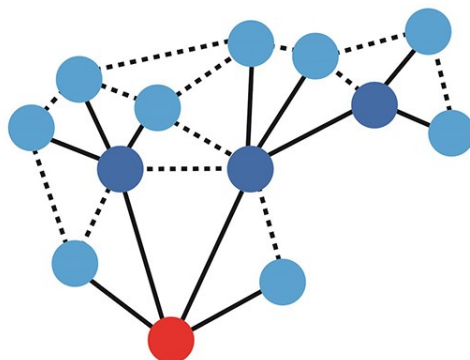
250kb/s. Sisätiloissa kantama on 10-30 m ja näköyhteydellä jopa 100 m. Laitteita yhdessä verkossa voi olla jopa 65 000 ja tietoturvana toimii 128 bittinen AES-salaus. ZigBee on suunniteltu lähinnä kotiautomaatiojärjestelmäksi ja valaistuksen ohjaamiseksi. ZigBee-verkko vaatii yhteensopivan reitittimen toimiakseen. (Stables, 2019)

ZigBeen yksi suurimmista heikkouksista on sen taajuusalue, minkä se jakaa wifi verkon kanssa. Kuvassa 7 on esiteltynä kanavat, missä ZigBee ja wifi toimivat. Tämä täytyy ottaa suunnittelussa huomioon ja välttää kanavien päällekkäisyyttä ja tämän avulla voidaan välttää häiriötä. Toisaalta tämä toimii myös sen hyväksi, sillä 2,4 GHz taajuudella toimivia laitteita on useita maailmanlaajuisesti ja ne ovat yleensä hyvin kustannustehokkaita. Laitteet kuluttavat vähän virtaa ja esimerkiksi anturit voivat toimia yhdellä akulla jopa vuosia. (Homey, n.d.)



Kuva 7. Wifi ja ZigBee taajusalue ja kaista. (Allard-Jacquín, Colle & Thonet 2008, s. 7)

ZigBee-verkko rakennetaan yleensä mesh-verkoksi, missä kaikki laitteet voivat keskustella toisten kanssa ja varmistaa sekä toistaa toisen komen-toja. Tällä voidaan nostaa kantamaa ja järjestelmän luotettavuutta. Ku-vassa 8 on tyypillinen verkon rakenne, missä punainen piste on koordinaat-tori mitä verkossa täytyy olla vain yksi. Koordinaattorin tehtävänä on hal-lita muita reitittämiä ja laitteita verkossa. (Elprocus, n.d.)

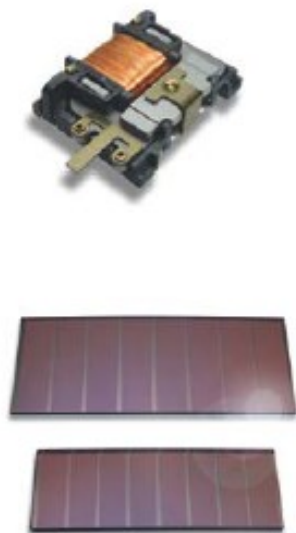


Kuva 8. ZigBee verkon tyypillinen mesh-verkko. (Homey n.d.)

## 4.2 EnOcean

EnOcean on langaton tekniikka ja se toimii Euroopassa 868 MHz taajuusalueella. Tällä on myös oma standardi ISO/IEC 14543-3-1X ja se on suunniteltu tukemaan erittäin matalaa tehon kulutusta. Eri anturit ja toimilaitteet lähettävät tietoa vain tietyn väliajoin ja datan siirto tapahtuu hyvin nopeasti lyhyessä ajassa. Kantama EnOcean-laitteilla rakennuksissa on maksimissaan noin 30 m ja vapaassa tilassa näköyhteydellä jopa 300 m. EnOcean-laitteilla on uniikit tunnusnumerot, joita ei voi vaihtaa tai kopioida. Laitteet lähettävät datapaketit satunnaisvälein ja käyttävät salaukseen 128-bit AES-algoritmia. (EnOcean, 2016, ss. 2–3)

EnOcean-laitteille on ominaista toimia ilman paristoja tai akkuja, kuitenkin laitteita on saatavilla paristoilla, joilla voidaan varmistaa laitteiden toimivuus. EnOcean-laitteet saavat energiansa ympäristöstä tai mekaanisesta liikkeestä. Kuvassa 9 on mekaaninen energian muunnin ja miniaurinkopaneeli. Mekaaninen energia muutetaan sähköenergiaksi napin painalluksella ja se tuottaa energiaa 120  $\mu$ Ws (mikro watti sekuntia). Mini aurinkokennot ovat kooltaan enintään 13 mm x 35 mm ja ne voivat käyttää sisävalaistusta lataukseen. Lataus vaatii vähintään 200 luksin valaistusvoimakkuuden ja sen lataaminen voi kestää jopa neljä tuntia. Normaalikäytöllä tämä riittää ainakin 24 tuntia. (EnOcean, 2016, s. 1)



Kuva 9. EnOcean-energiankeräyslaitteet. (EnOcean 2016, s.1)

EnOcean tarjoaa erilaisia moduuleita ja profiileja (EEP) laitteille, mutta ne toimivat samalla periaatteella. Osa laitteista voidaan konfiguroida käyttötarkoituksen mukaisesti ja näin voidaan muuttaa esimerkiksi signaalien lähetysväliä. Kaikkien laitteiden toimintaa ei voida muuttaa, mutta on mahdollista opettaa niille tiettyjä toimintoja. Nämä toiminnot ja profiilit täytyy selvittää EnOcean sivuilta, mistä saa selville kaikki toiminnot ja mitä dataa kyseinen laite lähettää.

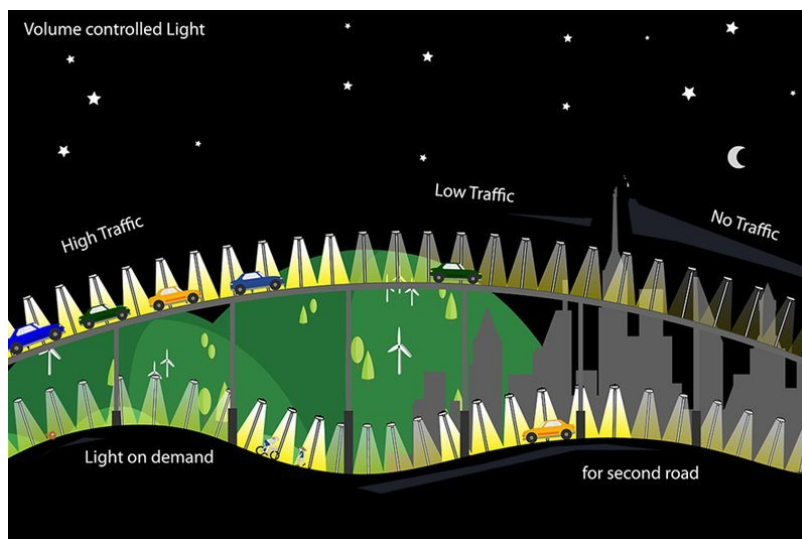
## 5 ADAPTIIVINEN VALAISTUS

### 5.1 Toiminta ja käyttökohteet

Adaptiivisella valaistuksella tarkoitetaan valaistuksen mukautumista tilan tarpeisiin teknologian avulla. Toimistokäytävillä valot paloivat ennen adaptiivista valaistusta pahimmillaan vuorokauden ympäri, ohjauksena ainoastaan valokatkaisin. Teknologian kehittyessä on mahdollista tehdä valaistuksesta ns. älykäs ja syöttää tietoa antureiden avulla valoisuuden tarpeesta. Tällaisia sensoreita ovat mm. liikkeentunnistinanturi ja valon määrää mittaava anturi.

Jos käytävässä on adaptiivinen valaistus, valot pysyvät himmeinä, kunnes tunnistinanturi antaa signaalin huomattavasta liikkeestä käytävällä. Tällöin valot kirkastuvat käytävässä valaistusvaatimuksissa vaadittuun kirkkauteen. Samalla valon määrää mittaavien antureiden avulla lasketaan ikkunoista säteilevä valon määrä, näin huomioidaan huoneessa jo oleva valon määrä. Näin tilaan saadaan juuri tarvittava valaistus energiaa säästämällä ja auringonvaloa hyväksi käyttäen.

Muita mittauksen kohteita kuin rakennuksen käytävät ja huoneet ovat esim. jalankulkijoiden ja liikenteen määrän mittaaminen. Uusissa autoissa on adaptiivinen kaukovaloavustin. Tämä tarkoittaa sitä, että auton valot mukautuvat koko ajan tilanteeseen kantaman ja suuntauksen avulla. Esimerkiksi, jos edessä ajaa auto, valaistus tunnistaa sen ja jättää edessä ajavan auton kohdalle varjon. Kuitenkin valaistus valaisee leveästi pientareelle saakka muulla valollaan. Kuvassa 10 näkyy adaptiivisen valaistuksen toiminta liikenteessä. (Liikkeellä, 2019)



Kuva 10. Adaptiivinen valaistus liikenteessä. (Great Basin Lighting 2018).



Antureiden lisääminen valaistukseen tekee valaistuksesta älykkään. Se tarkoittaa sitä, että valaistus mukautuu tilanteen mukaan reaaliajassa. Valaistusta ei siis voi kutsua älykkääksi, jos se on ohjelmoitu esim. ajastimilla toimivaksi. (Pihlajaniemi 2016, s. 16)

## 5.2 Liiketunnistus

Liiketunnistuksen avulla tilasta saadaan adaptiivinen. DALI-valaisimia voidaan ohjata myös liiketunnistuksen avulla, jossa voidaan ohjata yhtä valaisinta tai jopa valoryhmiä. Tunnistimen voi asentaa mm. kattoon ja seinään. Laitevalmistaja ilmoittaa tunnistimen tunnistusalueen, jonka mukaan voidaan suunnitella, kuinka monta tunnistinta esim. aula tarvitsee. Tunnistinalueeseen vaikuttaa mm. asennuskorkeus ja näköetäisyyttä haittaavat elementit, kuten ilmastointikanavat. Laitevalmistaja ilmoittaa myös ideaalisen asennuskorkeuden laitteilleen. (Salmela, 2016, s. 16)

Liiketunnistimia on kahdenlaisia: passiivisia ja aktiivisia. Yleisesti varsinkin valaistuksessa käytetty liiketunnistin on passiivinen. Passiivinen liiketunnistin käyttää infrapunatunnistintekniikkaa (PIR), jossa tunnistusalueella keskitytään liikkeen ja lämpötilan äkillisiin muutoksiin. Häiriötekijän tullessa mittausalueelle liiketunnistin huomaa tämän. PIR-tunnistimien asennuksessa tulee huomioida mahdolliset tahattomat häiriötekijät, joita ovat mm. ilmastointi, valot ja lämmityslaitteet. PIR-tunnistin voi lukea nämä häiriötekijät liikkeiksi. Tämän takia tunnistin tulee asentaa minimissään kahden metrin etäisyydelle näistä häiriötekijöistä. Aktiivisissa liiketunnistimissa tunnistin lähettää tunnistusalueelle säteitä. Häiriötekijän ilmestyessä alueelle säteet kimpoavat takaisin tunnistimeen ja liiketunnistin havaitsee näin liikkeen. Yleisimpiä aktiivisia liiketunnistimia ovat ultraääni- ja mikroaaltotunnistimet. (Salmela, 2016, s. 16)

# 6 VALONOHJAUSJÄRJESTELMÄ

## 6.1 DALI

Vielä 1980-luvulla valojenohjaus toimi suurimmaksi osaksi analogisesti. Ongelmana oli, että yksittäistä valoa valaistusryhmässä ei pystytty säätämään ja eri valaisimien yhteensovitus oli käytännössä mahdotonta. Digitaalinen valaistuksenohjaus keksittiin jo 1980-luvulla, mutta digitaalinen valonohjausprotokolla standardisoitiin vasta 1990-luvun lopulla liitälaittevalmistajien (Tridonic, Helvar, Philips ja Osram) yhteistyön lopputuloksena. Tämä avoin protokolla sai nimekseen DALI (Digital Addressable Lighting Interface). DALI-valonohjausprotokollan käyttäjiä ovat nykyään kaikki suuret liitälaittevalmistajat. (Voutilainen, 2010, s. 9)

### 6.1.1 Kapasiteetti

Laitteiden maksimimäärä on yhdessä DALI-verkossa 64 kpl. Näistä 64 laitteesta voi tehdä valaisinryhmiä, joiden maksimimäärä yhdessä verkossa on 16 kpl. Reitittimiä käytetään, mikäli ohjattavia valaisimia on enemmän kuin 64 kpl. Reitittimien avulla voidaan yhdistää kaksi eri DALI-verkkoa yhdeksi kokonaisuudeksi, näin laitteiden maksimimääräksi saadaan 128 kpl. (Kallioharju, 2012, s. 12–13)

DALI-ohjaus perustuu osoitteelliseen digitaaliohjaukseen. Tiedon välitys on osoitteellista ja jokaisella komponentilla on oma osoitteensa. Digitaalisen ohjauksen ansiosta ohjausyksikön ja ohjattavien valaisimien välisellä etäisyydellä ei ole väliä. Ainoana rajoitteena on kaapelissa tapahtuva jännitteenalenema, kun laitteiden välinen etäisyys on yli 300 m (kaapelin poikkipinta-alan ollessa  $1,5 \text{ mm}^2$ ). Isoissa projekteissa 300 m voi ylittyä ja tällöin ohjauskoteloita lisätään kerros- tai tilakohtaisesti. (Kallioharju, 2012, s. 15)

### 6.1.2 Liitäntälaitteet ja kaapelointi

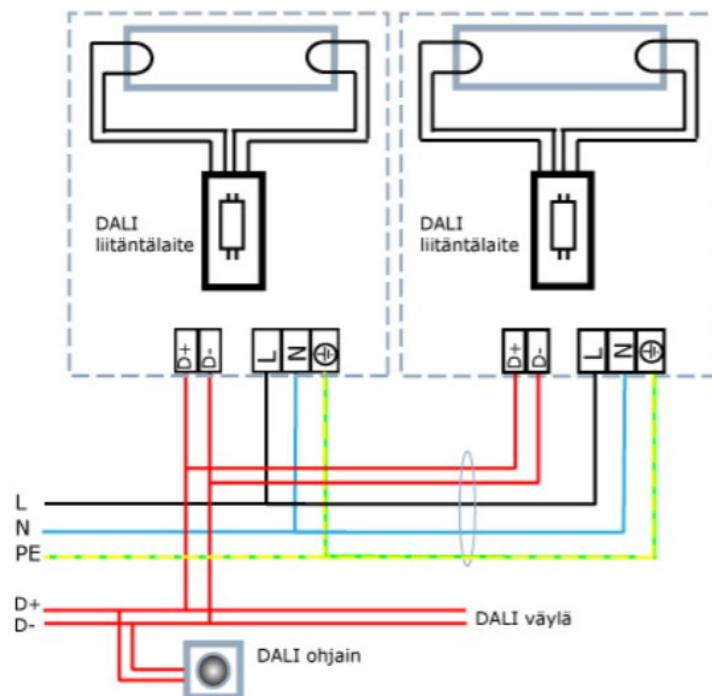
DALI käyttää kaksinapaista kaapelointia, jonka avulla DALI-komponentit keskustelevat keskenään. Toimiakseen DALI-järjestelmä tarvitsee oman tehollähteen, ohjainlaitteen sekä valaisimen, jossa on DALI-liitäntä. Nämä komponentit yhdistetään toisiinsa kaksijohtimisella DALI-väylällä. DALI tarvitsee oman tehollähteen, koska maksimivirransyöttö väylään tulee olla 250 mA. Asennuksessa ja suunnittelussa tulee olla tarkkana, sillä tehollähdettä ei saa kytkeä samaan väylään reitittimen kanssa tai asentaa yhteen väylään kahta tehollähdettä. Kahden tehollähteen ollessa kytkettynä samaan väylään lopputuloksena maksimivirransyöttö ylittyy, tiedonsiirto katkeilee ja komponentit voivat vaurioitua. (Kallioharju, 2012, ss. 18–23)

Valaisimia ohjaaviin DALI-liitäntälaitteisiin voidaan tallentaa maksimissaan 16 erilaista valaistustilannetta eli sceneä. Jokaisella valaisimella on oma liitäntälaitteensa. Valaistustilanteella tarkoitetaan mm. valojen himmentämistä ja tiettyjen valoryhmien sytyttämistä ja sammuttamista. Himmennys tapahtuu logaritmisesti, minkä ansiosta kirkkaustasokäyrä muuttuu lineaarisesti käyttäjän silmissä. DALI-ohjelmassa voidaan määritellä logaritmisesti 255 valotasoa, jossa 0 tarkoittaa valon sammuksissa oloa ja 254 kirkkaimmillaan oloa. Himmennystaso teoreettisesti on 0,1-100 % eli 254 taso on sama kuin 100 %. (Salmela, 2016, s. 13)

### 6.1.3 Asennus

DALI-väylän asennus on tehty helpoksi. DALI-valaisin vaatii vaiheen, nollan ja suojajohtimen lisäksi DALI-väylän kaksi johdinta D+:n ja D-:n. DALI-väylä saa kulkea samaa reittiä kuin valaisimien syöttöjärjestelmä, mutta DALI-kaapelin tulee kuitenkin täyttää suomen sähköverkon vaatimukset ja

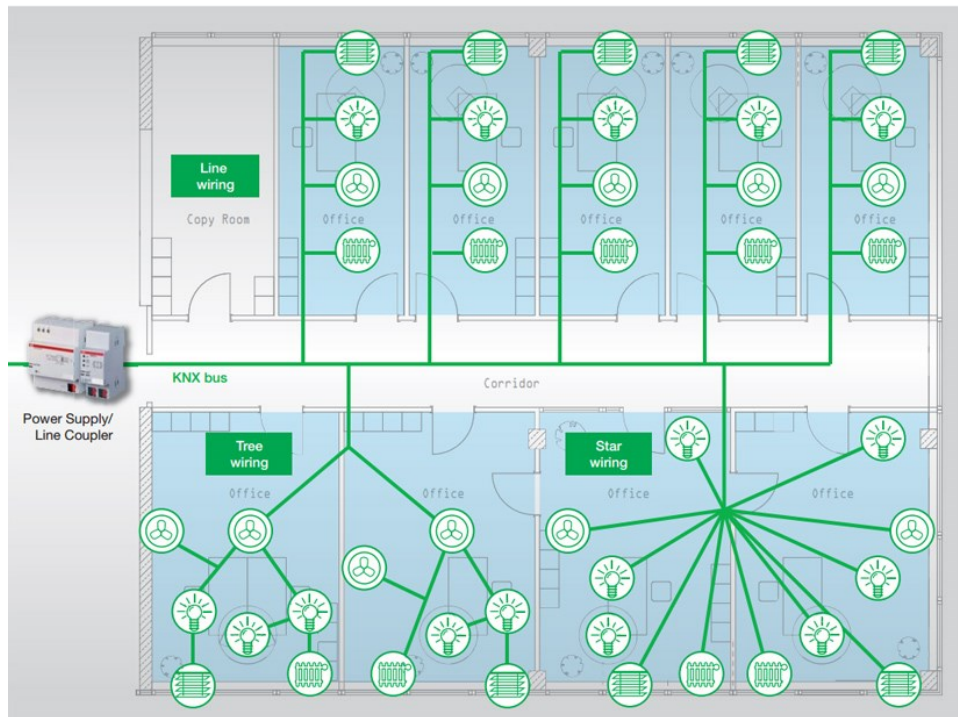
johtimien tulee olla verkkojännitteen kestäviä, esim. MMJ-kaapeleita. DALI voi olla itsenäinen järjestelmä tai toimia alijärjestelmänä kiinteistön automaatiojärjestelmässä. Kuvassa 11 näkyy esimerkki yksinkertaisesta valaisimien ohjauksesta DALI-ohjaimella. (Fagerhult, n.d.a)



Kuva 11. Loisteputkivalaisinten säätö DALI-ohjaimella. (Kallioharju 2012, s.21).

## 6.2 KNX

KNX on maailmanlaajuinen standardi, mikä on suunniteltu kotien ja rakennusten taloautomaatiojärjestelmien ohjaukseen. DALI-standardiin verrattaessa KNX on paljon laajempi. DALI-protokolla ohjaa valaisimia joko itsenäisenä järjestelmänään tai osana suurempaa taloautomaatiojärjestelmää (esim. KNX). KNX-tekniikalla voidaan ohjata valaistuksen lisäksi muun muassa rakennuksen lämmitystä, ilmanvaihtoa, turvajärjestelmiä ja audiojärjestelmiä. Kuvassa 12 näkyy, mitä laitteita pystytään liittämään ja millä kaapelointityypeillä KNX-väylä toimii. (knx, n.d.)



Kuva 12. KNX-väylään liitettäviä laitteita eri kaapelointityyleillä. (new.abb n.d.).

KNX ei tarvitse toimiakseen erillistä tietokonetta. Anturit ja tunnistimet siirtävät datan suoraan ohjauskaapelin kautta toimilaitteille, jotka tekevät tarvittavat toimenpiteet. Etäkäyttö on yksi parhaimmista KNX-järjestelmän tuomista eduista. Tämä ominaisuus mahdollistaa mm. lämmityksen tarkailun ja säädön etänä. KNX-väylään tulee asentaa erillinen väylämuunnin, jos haluaa käyttöönsä etäkäyttöominaisuudet. Väylämuunnin asennetaan keskukseseen, jossa se kytketään KNX-väylään ja LAN-verkkoon. (Voipio, 2019, ss. 11–13)

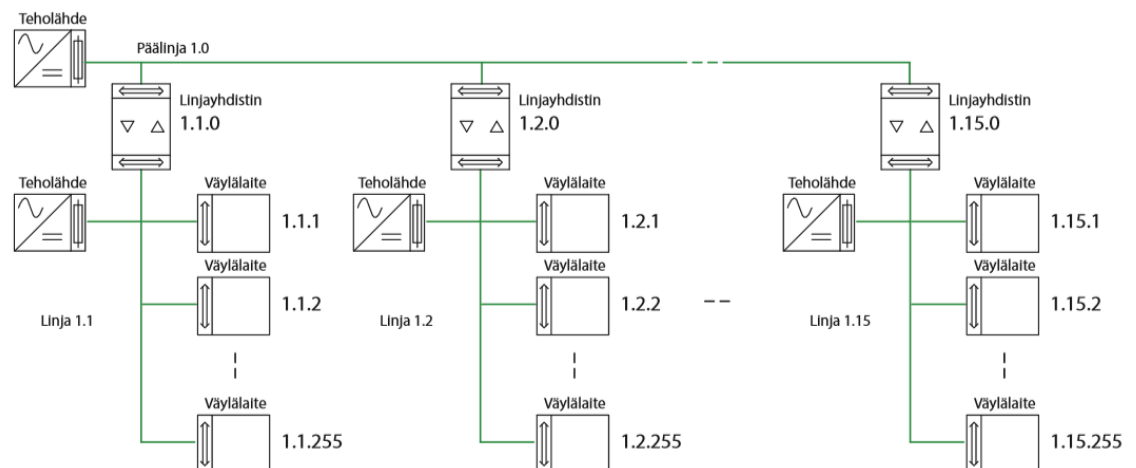
### 6.2.1 Kytcentä ja rakenne

KNX-järjestelmän rakenne koostuu päälinjasta, runkolinjasta ja linjasta. Toimiakseen KNX tarvitsee virtalähteen, jonka nimellisvirta on yleensä 1280 mA, 640 mA, 320 mA tai 160 mA. Virtalähde syöttää käyttöjännitteen (24 VDC) laitteille. Verkko rakenne muodostuu osoitteellisuuden avulla. Jokainen liitälaitte saa yksilöllisen osoitteen, joka muodostuu liitälaitteen alue- ja linjajaon mukaan. (Voipio, 2019, ss. 15–18)

Pienin rakenteellinen osa KNX-järjestelmässä on linja. Linja tarvitsee toimiakseen tehollähteen, väyläkaapelin ja väylälaitteen. Väylälaitteiden maksimimäärä riippuu valitusta tehollähteestä. Teoreettinen maksimilaitemäärä linjassa on 256 kpl. Maksimikokonaiskaapelipituus linjassa on 1000 m. Kaapeli voidaan haaroittaa linjaan, tähteen tai puuhun, kunhan kokonaiskaapelipituus pysyy alle maksimipituuden. Kuvassa 12 näkyy kolme eri kaapelin haaroitustyyliä. Väylälaitteen ja tehollähteen välisen kaapelin

maksimipituus on 350 m ja kahden väylälaitteen välisen kaapelin maksimipituus on 700 m. (Sähkötieto ry, 2019, ss. 58–59)

KNX-järjestelmässä alue koostuu useasta linjasta. Alue tehdään, jos yksi linja ei riitä suunnittelussa kattamaan KNX-aluetta. Syitä linjojen lisäämiseen voivat olla laitteiden maksimäärän ylittyminen tai kokonaiskaapelipituuden ylittyminen (1000 m). Suunnittelussa pyritään siihen, että jokainen linja on itsenäinen. Rakennuksen huoneessa olevat anturit ja toimilaitteet tulee olla samassa linjassa. Isommissa kohteissa yksi kerros voidaan suunnitella kuuluvan yhteen linjaan. Linjat yhdistetään päälinjaan käyttämällä linjayhdistintä. Päälinjan väyläkaapeli on samanlainen mitä myös linjoissa käytetään. Linjayhdistimen tehtävä on kopioida oman linjansa tieto silloin, kun tieto halutaan välittää toiselle linjalle. Linjayhdistin kopioi tiedon, ja toisen linjan linjayhdistin vastaavasti kopioi saadun tiedon ja välittää sen omaan linjaansa. Maksimi linjojen määrä yhdessä alueessa on 15 kpl. Kuvassa 13 näkyy linjojen yhdistyminen päälinjaan, näin saadaan yksi alue. (Sähkötieto ry, 2019, ss. 60–61)



Kuva 13. KNX-järjestelmän linjoja, jotka yhdistetään päälinjaan. Kokonaisuutta kutsutaan alueeksi. (Sähkötieto ry 2019, s. 59)

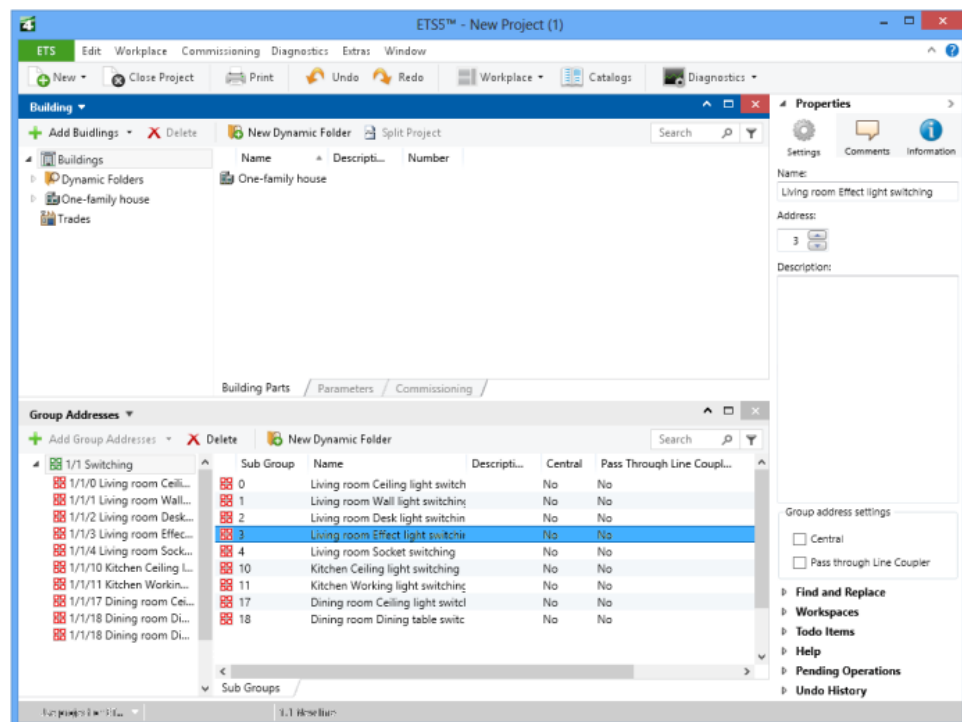
Jos alue ei riitä kattamaan rakennusta, on mahdollista korottaa KNX-topologiaa vielä yhdellä pykälällä. Enintään 15 aluetta on mahdollista liittää alueyhdistimillä runkolinjaan, jolloin saadaan muodostettua maksimi 15x15x256 väylälaitteen kokonaisuus. Alueyhdistin ja runkokaapeli ovat koostumukseltaan ja toiminnaltaan samanlaisia kuin linjayhdistin ja päälinja. Erona on niiden sijainti topologiassa. (Sähkötieto ry, 2019, s. 62)

KNX keskustelee laitteiden ja sensoreiden kanssa väylässä, joka voi olla kaapeloitu (sensoreista ohjaimiin kulkeva parikaapeli), langaton (radioaalto) tai molempia teknologioita sisältävä muokattava kokonaisuus. Kierretty parikaapelikytkentä on yleisin tiedonsiirtotapa. Langaton radioaalto soveltuu esim. saneerauskohteisiin, joissa kaapeleita ei haluta vetää uudestaan. Radiotaajuuksia käyttäessä tiedonsiirto tapahtuu taajuudella 868 MHz ja kantama on n. 100 m. Laitteesta tulee käydä ilmi, että se soveltuu

KNX-verkostoon. KNX-yhteyden sisältävissä laitteissa lukee yleensä kyljessä KNX ja se on KNX-sertifioitu laite. KNX-laitteita voidaan ohjata kytkimillä paikan päällä tai kauko-ohjauksella puhelimen avulla. (knx, n.d.)

### 6.2.2 Ohjelmointi

KNX-väyläohjelmointi tapahtuu ETS-ohjelmalla, jossa jokaiselle laitteelle annetaan fyysinen osoite. Laitteen tunnistuksessa tulee painaa jokaisen laitteen tunnistusnappulaa omalla vuorollaan. Tämä tarkoittaa sitä, että on helpointa tehdä väyläohjelmointi ennen laitteiden fyysistä asennusta. Jos fyysinen asennus on jo tehty, pitää laitteiden tunnistusvaiheessa mennä esim. kytkimien luo, painaa tunnistusnäppäintä ja palata takaisin PC:lle, jossa väyläohjelmointi tehdään. Jokaisella laitteella on oma valmis laiteohjelmansa, jonka saa ladattua laitteen valmistajan kotisivuilta. Laiteohjelma ladataan ETS-ohjelmaan ja sen mukaan laitteelle voidaan antaa raja-arvoja ja erilaisia toimintoja. Kuvassa 14 näkyy ETS-ohjelma. (Sähkökonsultti Ojala Oy 2019)



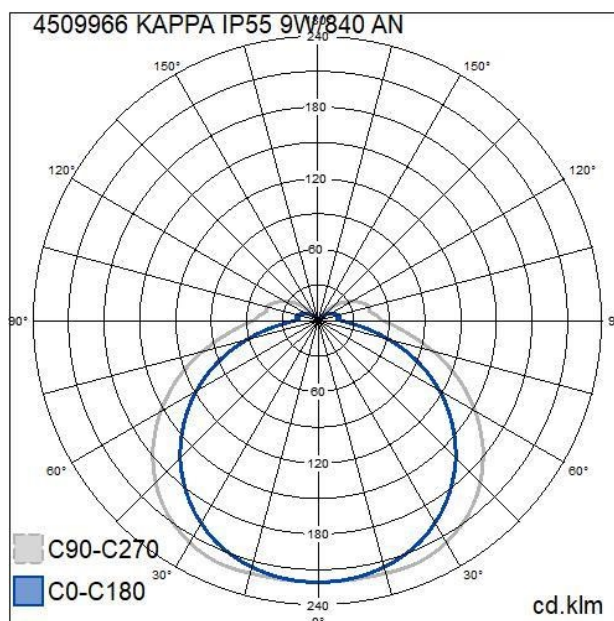
Kuva 14. KNX-väyläohjelmointiin käytettävä ETS ohjelma.

Jokaisella väylälaitteella tulee olla oma yksilöllinen osoitteensa topologiassa. Osoite määräytyy laitteen sijainnin mukaan KNX-topologiassa. Pienin osoite KNX-järjestelmässä on 0.0.0 ja suurin 15.15.255. Ensimmäinen lukualue on 0-15 ja se kertoo, millä alueella väylälaite sijaitsee. Toinen luku on myös 0-15 ja se kuvaa, millä linjalla laite sijaitsee. Kolmannen luvun lukualue on 0-255 ja se kertoo väylälaitteen numeron linjassa. Esimerkiksi 1.4.6 tarkoittaa, että kyseinen laite on 6. laite linjassa 4, joka sijaitsee alueella 1. Osoitteellisuus tulee olla kunnossa ja hallinnassa, jotta ohjelmointi ETS-ohjelmalla onnistuu. (Sähkötieto ry, 2019, s. 63)

## 7 VALAISTUKSEN TEORIA

### 7.1 Valonjakokäyrä

Erilaisten valaisimien tarkoituksena on suunnata niissä olevien lamppujen valovirtaa, minkä takia jokaisella valaisimella on oma valonjakokäyränsä. Valonjakokäyrä kertoo valaisimien valonjako-ominaisuudet, kuten mihin suuntaan valaisin heijastaa valoa. Valonjakokäyrä piirretään napakoordinaatistoon valaisimen pitkittäisakselin (C0-C180) tai poikittaisakselin (C90-C270) suunnasta. Yleisesti valonjakokäyrä piirretään lampun 1000 lumenin valolähdettä kohti, jotta eri valaisimien valonjakokäyrien vertailu onnistuisi helposti. Kuvassa 15 näkyy valaisimen valonjakokäyrä pitkittäis- ja poikittaisakselin suunnasta. (Ensto, n.d.)



Kuva 15. Valonjakokäyrä pitkittäis- ja poikittaisakselin suunnasta. (Airam n.d.a)

Valovoima on SI-järjestelmän yksikkö ja yksikkönä toimii kandela (candela, cd), esimerkiksi kynttilän valo on suurin piirtein 1 cd. Valo-opastimet ilmoittavat valonjakokäyrät yleensä suoraan kandeloina. Mitä enemmän valaisin tuottaa valoa eli lumeneita, sitä suurempi on valovoimakkuus. Ehtona tähän ilmiöön on, että säteilykulma pysyy samana. Jos valaisin suunnataan kulmaan eli pienemmälle alueelle, niin valaisimen tuottama valo pysyy samana lumeneissa, kun taas valovoima kaneloissa suurenee. (Lampputieto, n.d.a)

## 7.2 Luksi ja Lumen

Luksi (lx) on valaistusvoimakkuuden määrää kuvaava SI-järjestelmän yksikkö. Yksi luksi saadaan, kun yhden lumenin valovirta antaa tasaisesti valoa yhden neliömetrin alalle. Valaistusvoimakkuuteen vaikuttaa esimerkiksi lampun valovirta, valaisimen valonjakokäyrä ja valaisimen sekä valaistavan pinnan välinen etäisyys. (Lampputieto, n.d.b)

Lumen (lm) on valovirran yksikkö ja kuuluu SI-järjestelmään. Valovirta kertoo valaisimen ja lampun tuottaman valon määrästä. Nykyään lamppuvaihtoehtojen lisääntyttyä ei pystytä vertailemaan valaisimien kirkkautta wattilukemien perusteella, sillä watit kertovat lampun sähkönkulutuksen, mutta eivät valon määrää. Taulukossa 1 näkee eri valaisimien tehot verrattuna saatuihin lumeneihin. (Lampputieto, n.d.c)

Taulukko 1. Lumenit ja watit vertailussa (Valotorni n.d.)

Lumenit ja watit taulukkona		
Hehkulampun teho (W)	Teho lumeneina	Vastaavan LED-lampun teho (W)
100	1600	16-20
75	1000	10-12
60	800	8-10
40	450	5
25	300	3

## 7.3 Valaistusvaatimukset

Valaistusvoimakkuus vaikuttaa tilojen käytännöllisyyteen, esimerkiksi opiskelutilassa tulee olla suurempi valaistusvoimakkuus kuin käytävässä. Tämän takia eri tiloille on standardisoitu valaistusvaatimukset, jotta pystytään varmistamaan tilan toiminnallisuus.

Valaistusvaatimuksiin liittyviä standardeja on useita ja ne on jaoteltu alueiden mukaisesti. SFS-EN 12464-1 keskittyy sisätyöpaikkoihin, EN 12464-2 ulkotyöalueisiin, EN 12193 urheilutilojen valaistukseen ja SFS-EN 1838 valaistussovelluksiin. (Saarelainen, 2019)

Sisätyöpaikkojen standardiin kuuluu mm. teollisuuden, terveydenhoitotilojen, opetustilojen, päiväkotien, toimistojen sekä liiketilojen ja myymälöiden valaistusvaatimukset. Taulukossa 2 näkyy opetustilojen valaistusvaatimukset. URG-arvolla kuvataan valaisimen tai lampun häikäisyyarvoa. Mitä pienempi URG-arvo sitä pienempi on valaisimen aiheuttama suora häikäisy. (Saarelainen, 2019)



Taulukko 2. Määrätyt valaistusvoimakkuudet opetustiloissa (Saarelainen 2019).

Opetustilojen valaistusvaatimukset			
Tila/tehtävä	Valaistusvoimakkuus (lx)	Häikäisy (UGR)	Tasaisuus
Luokka- ja opettajainhuone	300	19	0,6
Auditorio, luentosali ja käsityöluokat	500	19	0,6
Käytävät	100	25	0,4
Portaat	150	25	0,4
Liikuntasalit	300	22	0,6
Ruokala	200	22	0,4
Keittiö	500	19	0,6

Urheilutilojen standardiin kuuluu mm. jalkapallon sisä- ja ulkokenttien kaikki luokat, tenniksen sisä- ja ulkokenttien kaikki luokat, jäähallien kaikki luokat, kuntosalit ja laskettelurinteet. Taulukossa 3 on esimerkkejä urheilutilojen valaistusvaatimuksista.

Taulukko 3. Urheilutilojen valaistusvaatimuksia (Saarelainen 2019).

Urheilutilojen valaistusvaatimukset		
Tila/tehtävä	Valaistusvoimakkuus (lx)	Tasaisuus
Jalkapallo sisäkenttä luokka I	750	0,7
Jalkapallo sisäkenttä luokka III	200	0,5
Jalkapallo ulkokenttä luokka I	500	0,7
Jalkapallo ulkokenttä luokka III	75	0,5
Tennis sisäkenttä luokka I	750	0,7
Tennis sisäkenttä luokka III	300	0,5
Tennis ulkokenttä luokka I	500	0,7
Tennis ulkokenttä luokka III	200	0,6
Jäähalli luokka J1	1200	0,8
Jäähalli luokka J4	250	0,6
Kunto- ja liikuntasalit	300	0,6
Laskettelurinteet	100	0,5

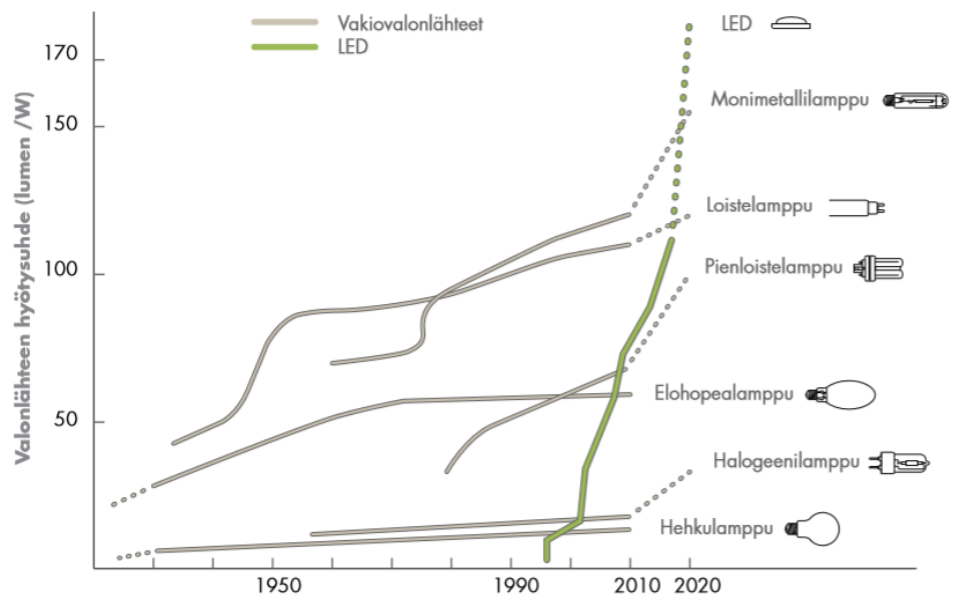
Ulkoalueiden standardiin puolestaan kuuluvat mm. työalueet, liikkumiseen käytettävät alueet ja väylät, taajamien ympäristö, rakennusten pihat ja vartioitavat alueet. Taulukossa 4 on esimerkkejä ulkoalueiden valaistusvaatimuksista.

Taulukko 4. Ulkoalueiden valaistusvaatimuksia (ST 58.09 2003, s.11.)

Yleiset liikkuma-alueet			
Tila/tehtävä	Valaistusvoimakkuus (lx)	Häikäisy (UGR)	Tasaisuus
Kevyen liikenteen väylät ja pihakadut	5	50	0,25
Liikennealueet, joissa maksimi nopeusrajoitus on 10 km/h	10	50	0,4
Liikennealueet, joissa maksimi nopeusrajoitus on 40 km/h	20	45	0,4
Suojatiet sekä kääntö-, lastaus- ja purkupaikat	50	50	0,4
Teollisuus- ja varastoalueet			
Tila/tehtävä	Valaistusvoimakkuus (lx)	Häikäisy (UGR)	Tasaisuus
Isojen tavaroiden lastaus- ja purkupaikat, joilla toimitaan lyhyt aika	20	55	0,25
Isojen tavaroiden lastaus- ja purkupaikat, nosturialueet ja avoimet lastauslaiturit, joilla toiminta on jatkuvaa	50	50	0,4
Osoitteiden lukeminen, katetut lastauslaiturit ja työväläineiden käyttö	100	45	0,5
Vaativat sähkö-, putki- ja koneasennukset sekä tarkastukset	200	45	0,5

#### 7.4 LED-tekniikka

Valodiodi eli LED on tämän hetken mullistavimpia tekniikoita valaistusteollisuudessa. LED-tekniikka itse ei ole uusi keksintö, sillä ns. pienteholedejä on käytetty jo pitkään mm. merkkivaloissa. Teholedien (teho n. 1 W) keksiminen on mahdollistanut esim. loistevalaisimien korvaamisen ledeillä. LED-valonlähteenä on erilainen verrattuna perinteisiin valonlähteisiin. Esimerkiksi loistelamppu ohjaa valoa jokaiseen suuntaan, kun taas LED suuntaa valon vain yhteen suuntaan. Perinteisten valolähteiden hyötysuhde on tämän takia heikompi. Kuvassa 16 näkee eri valolähteiden hyötysuhteen kehityksen. (Glamox Luxo Lighting, 2013, s. 3)



Kuva 16. Eri valonlähteiden hyötysuhteiden kehitys vuosien varrella. (Gla-mox Luxo Lighting 2013, s. 3).

LED-valaisimien elinikä on paljon pidempi kuin perinteisten valaisimien. Tämän takia kannattaa asentaa LED-valaisimia paikkoihin, joihin on hankala päästä vaihtamaan lamppea, kuten korkeat hallin katot ja mastot. LED-valaisimien elinikä ilmoitetaan kansainvälisen standardin mukaan kahdella arvolla. Ensimmäinen on LED-moduulien elinikä ja toinen on LED-liitälaitteiden elinikä. LED-moduulin elinikä ilmoitetaan erillisillä kirjain- ja numerokoodeilla. Ensimmäinen kirjain on L, jonka perässä on numero 70, 80 tai 90. L-kirjain kuvaa prosentuaalista valovirran määrää verrattuna uuden valaisimen tuottaman valovirran määrään ilmoitetun ajan jälkeen. L-kirjaimen perässä oleva luku kuvaa prosenttimäärää. B-luku kuvaa edellä mainitun L-arvon tarkkuutta, eli esimerkiksi  $L_{70}B_{50}$  50 000 h tarkoittaa, että 50 000 tunnin kuluttua 50 prosentissa valaisimista valovirta on  $\geq 70$  prosenttia uuden valaisimen valovirrasta. (Fagerhult, n.d.b)

Ulkotiloihin tarkoitetuissa LED-valaisimissa ilmoitetaan myös C-arvo (*catastrophic failures*), mikä tarkoittaa koko LED-moduulin vikaantumista eli sammumista. Jos LED-moduulissa on useampi LED-valo ja yksi niistä sammuu, tämä lukema ei liity C-arvoon vaan kuuluu B-arvon kategoriaan. Esim.  $C_8$  tarkoittaa, että kahdeksan prosenttia LED-moduuleista ei tuota enää valoa ilmoitetun tuntimäärän jälkeen. (Fagerhult, n.d.b)

LED-liitälaitteiden elinikään vaikuttaa mm. liitälaitteen rakenne ja komponentit sekä niiden lämpötila. Liitälaitteen elinikä kuvataan  $T_c$ -arvolla, joka saadaan, kun liitälaitteesta mitataan tietyistä pisteistä lämpötila. Lämpötila ei saa koskaan olla suurempi kuin mitä valmistaja on ilmoittanut. Esimerkiksi jos liitälaitteen eliniäksi on annettu 40 000 h / 8 % ja mittauspisteen lämpötila on pienempi kuin valmistaja on ilmoittanut, tällöin enintään kahdeksan prosenttia liitälaitteista vikaantuu 40 000 tunnin käyttöajan kuluttua. (Fagerhult, n.d.b)

## 8 ENERGIA TEHOKKUUS

Työ- ja elinkeinoministeriö edustaa Suomea EU:ssa ja muissa kansainvälisissä yhteistöissä energiatehokkuuteen liittyvissä asioissa. Energiaa halutaan säästää, koska ilmastonmuutosta pitää hillitä ja energiansaanti halutaan turvata sekä mahdollisuuksien mukaan saavuttaa omavaraisuus energiantuotannossa. Tämä tarkoittaa tuontien energiatarpeen vähentämistä ja resurssitehokkuutta. (Työ- ja elinkeinoministeriö, n.d.)

Suomi on sitoutunut EU-maana vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä mm. parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Suurin yksittäinen ilmastonmuutoksen aiheuttaja tulee tällä hetkellä rakennusten energiankulutuksesta. Tämä tarkoittaa muutosten tekemistä jo olemassa oleviin rakennuksiin ja ekologista suunnittelua ja rakentamista tulevaisuudessa. Uusiutuvan energian käyttöä ja valjastamista tulee hyödyntää rakennuksissa. Suurimpia energiankuluttajia rakennuksissa ovat LVI-järjestelmät ja lämpövuodot. Lämpövuodoilla tarkoitetaan mm. vetäviä ikkunoita. (Rautiainen, Jalo, Husu & Heilä, 2018)

### 8.1 Energiatehokkuus automaatioissa

Vuonna 2014 Suomen energian kokonaiskulutus oli 1,34 TJ (Terajoule), mistä noin 40 % kuluttivat rakennukset. Tästä lämmitys, ilmanvaihto ja jäähdytys kuluttavat energiaa eniten. Huolto ja ylläpito ovat oleellinen asia kulutuksen seuraamiseen ja ne vaihtelevat paljon eri rakennuksien välillä. Parantamalla huoltoa ja ylläpitoa voidaan saada huomattavia energiansäästöjä ja mahdollisesti voitaisiin alentaa jopa 20–30 % Suomen energiankulutuksesta, jos hyödynnettäisiin kaikki säästömahdollisuudet. Näiden saavuttamiseksi vaaditaan hyvää ylläpitoa eri kiinteistöiltä. Tämä on mahdollista eri mittauksien ja kulutuksen seuraamisella, kun mittauksia hyödynnetään olosuhteiden mukaisesti, saadaan järjestelmästä energiatehokkaampaa. (ST 98.50, 2016, s. 1)

Standardi SFS-EN 15323 käsittelee rakennusten energiatehokkuutta ja vaikutusta, mutta ei aseta vaatimuksia tai tavoitetasoa vaan tuo mahdollisuuden arvioida automaation vaikutusta energiankulutukseen rakennuksissa. Standardi luokittelee rakennuksen automaatiotason neljään eri luokkaan, missä luokka D on huonoin ja A paras. (ST 98.50, 2016, s. 3)

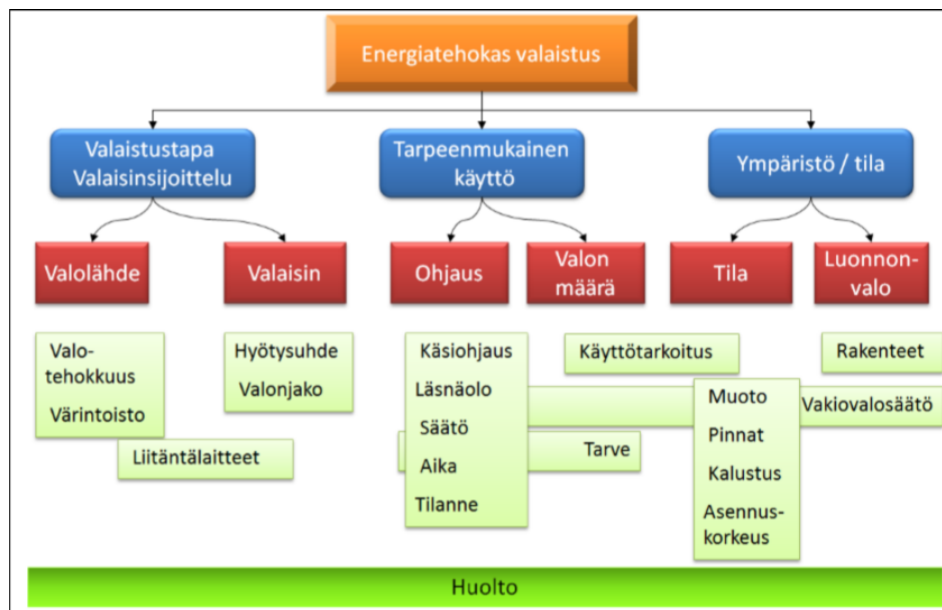
- Luokka D. Ei automaatiota, eli manuaali ohjaus
- Luokka C. Minimivaatimukset täyttyvät rakennusautomaatioissa, eli jotain automaattista säätö- ja ohjaustoimintaa.
- Luokka B. Rakennusautomaatiojärjestelmä kommunikoi eri laitteiden kanssa ja on edistyneemmällä tasolla verrattuna luokkaan C.
- Luokka A. Rakennusta hallitaan energiatehokkaasti ohjaamalla tarpeen mukaisesti ja energiankulutusta seurataan. (ST 98.50, 2016, s. 3)

## 8.2 Energiatehokkuus valaistuksessa

Suomessa jopa 10 % käytetystä sähköstä kuluu valaistukseen. Koulurakennuksissa jopa viidennes ja sairaaloissa kolmasosa energiankulutuksesta muodostuu valaistuksesta aiheutuvasta sähkönkulutuksesta. Syy tähän on, että näissä rakennuksissa valaistus on päällä pahimmillaan vuorokauden ympäri. Valaistuksen energiatehokkuuden parantamiseksi tulee jo suunnitteluasteella ajatella pintojen heijastavuutta ja väriä, jotta valaisimet valaisevat tilan standardien mukaisesti pienemmällä kappalemäärällä ja järkevällä sijoituksella. (Motiva 2017)

Valaistuksessa energiatehokkuuteen vaikuttavat eniten itse valaisinvalinta, valaisimien sijoittelu, ohjaus ja valaistavan kohteen arkkitehtuuri. Valaisinvalinnalla tarkoitetaan sitä, onko lamppu esim. energiansäästölamppu vai LED. LED on tällä hetkellä energiatehokkain valinta valaistuksessa. Myös valaisimen valotehokkuus (lm/W) on tärkeässä asemassa valaisinvalinnassa ja energiatehokkuutta tutkiessa. Valotehokkuuteen vaikuttaa lampun valotehokkuus sekä valaisimen liitäntälaitteen hyötysuhde. (Aaltonen 2017, s. 9)

Valaisinsijoittelussa energiatehokkuus saavutetaan, kun suunnitelmassa käytetään työpistekohtaista valaistusta yleisvalaistuksen sijaan. Tämä tarkoittaa esim. avotoimistoissa sitä, että työntekijä itse voi säätää oman työpisteensä valon kirkkautta saavuttaakseen tarvittavan luksimäärän työskentelyyn. Näin koko toimistoalueelle ei tarvitse suunnitella 500 luksin työskentelykirkkautta ja valaistus on energiatehokkaampaa. Yleisvalaistuksen saa myös energiatehokkaaksi lisäämällä valaistukseen tilanneohjauksen. Tilanneohjauksella tarkoitetaan valaistuksen mukautumista tilan tai rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisesti. Hyvä esimerkki tällaisesta tilasta on auditorio, joka toimii niin esittely- kuin luentotilanakin. Vaikka yleisvalaistukseen lisäisi tilanneohjauksen, tutkimusten mukaan työpistekohtainen valaistus on silti energiatehokkain ratkaisu tällä hetkellä. Kuvassa 17 näkyy valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. (Aaltonen 2017, s. 10)



Kuva 17. Energiehokkaaseen valaistukseen vaikuttavat tekijät. (Kallioharju & Harsia 2015.)

## 9 OHJELMOITAVA LOGIIKKA

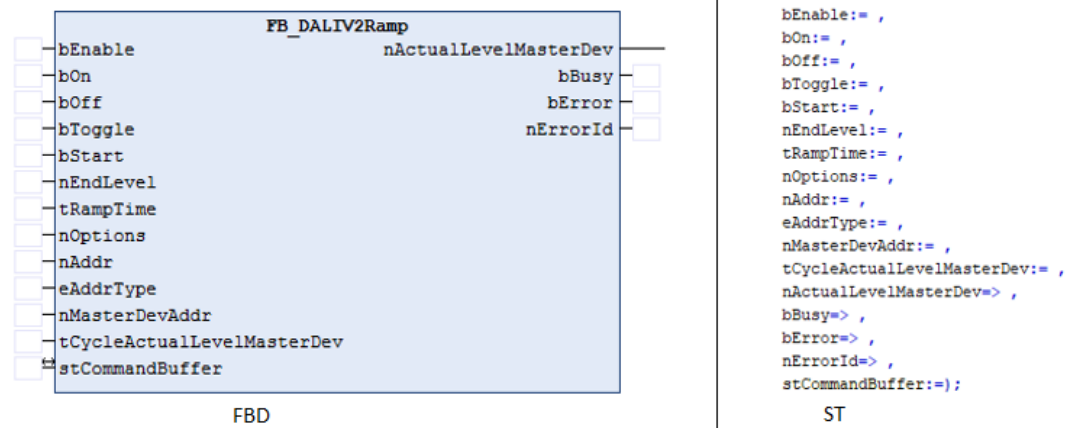
Ohjelmoitava logiikka eli Programmable Logic Controller (PLC) pieni tietokone järjestelmä, joka suunniteltiin alun perin teollisuuskäyttöön. Nykypäivänä sitä käytetään useissa automaatioprosesseissa. Ohjelmoitava logiikka käyttää sisäistä muistia mihin käyttäjä on tallentanut käskyt, minkä ohjelma toteuttaa ne täsmälleen esimerkiksi logiikka, sekvensointi, ajastukset ja laskennat. PLC sisältää useita eri tulo- ja lähtö laitteita, missä tulo tiedolla ohjelma tulkitsee datan ja suorittaa määrätyt komennot ohjattavalle laitteelle. (Educba, n.d.)

Ohjelmoitava logiikka sisältää tyypillisesti prosessorin (CPU), I/O (tulo ja lähtö) -kortit ja mahdollisesti oman tehon lähteen. Nykyään PLC-järjestelmä on suunniteltu olemaan modulaarinen eli siihen voidaan lisätä ja vaihtaa eri komponentteja, kuten I/O-kortteja. Näin järjestelmästä saadaan käyttötarkoitukseen sopiva ja sitä on tulevaisuudessa helpompi muokata ja vikatilanteissa voidaan vaihtaa yksittäisiä kortteja eikä tarvitse tehdä suurempia muutoksia koko järjestelmään. Ohjelmoitava logiikka korvasi käytännössä vanhat relelogiikka paneelit, sillä muutokset voidaan tehdä ohjelmassa eikä tarvitse kaapeloida uudestaan.

Ohjelmointi tapahtuu yleensä tietokoneella ja eri logiikkavalmistajilla on omat ohjelmat, jotka kuitenkin perustuvat IEC 61131-3 standardiin. Ohjelmointikielet ovat graafisia tai tekstipohjaisia. Periaatteessa kaikilla kielillä voidaan toteuttaa sama ohjelma, mutta riippuen prosessista tietyt osa-alueet on helpompi toteuttaa eri kielillä. Prosessin ollessa käynnissä

muutoksia voidaan tehdä myös graafisen käyttöliittymän kautta, jolla voidaan vaihtaa vaikka eri aikaohjauksia tai ohjata prosessia manuaalisesti.

Structured Text eli ST on tekstipohjainen ohjelmointikieli, jota kutsutaan myös korkean tason kieleksi. Siinä on laaja valikoima erilaisia käskyjä, joilla voidaan toteuttaa monimutkaisia funktioita. FBD eli Function Block Diagram on puolestaan graafinen ohjelmointikieli. Sen avulla ohjelmaa on helppo seurata ja yksinkertaiset loogiset vertailut ovat helposti toteutettavissa. Kuvassa 18 on esitetty kytkin funktio lohko molemmilla ohjelmointikielillä.



Kuva 18. Kytkin lohkon esittäminen FBD ja ST ohjelmointikielillä.

## 10 SUUNNITTELUOHJELMAT

### 10.1 DIALux

DIALux on ilmainen valaistussuunnitteluohjelma, jota käyttävät mm. arkkitehdit sekä valaistussuunnittelijat. DIALux-ohjelman on kehittänyt saksalainen DIAL GmbH. Ohjelma on ladattavissa DIALuxin kotisivuilta.

Valaisimet on normaalisti valittu jättimäisistä valaisinluetteloista, mutta DIALuxin avulla valaisimien vertailu erilaisissa tiloissa ja tilanteissa on hyvinkin helppoa. Ohjelmaan on mahdollista tuoda suunniteltavan tilan sähkö- ja pohjakuvat DWG-tiedostona, joiden avulla voidaan piirtää tilan seinät ja paikoittaa ovet sekä ikkunat. Toisena vaihtoehtona on piirtää huone ilman pohjakuvia. Valaisimien tuonti DIALux-ohjelmaan on myös tehty helpoksi. Suurimpien valaisinvalmistajien kotisivuilla on valaisintalteen lisäksi myös valaisimen valonjakokäyrän latausmahdollisuus LDT-muodossa. Tämä tiedosto on ladattavissa DIALuxiin ja, näin valaisimen tiedot siirtyvät suoraan ohjelmaan käytettäväksi.

Kun tila on piirretty DIALuxiin ja huoneen pinnat on määritetty oikeiksi, voidaan aloittaa valaisimien lisäys huoneeseen. Valaisin voidaan asettaa huoneeseen manuaalisesti haluttuun kohtaan tai ohjelma laskee itse

huoneen koon ja ottaa huomioon käyttäjän ilmoittaman huoneeseen vaaditun luksimäärän ja näiden annettujen raja-arvojen avulla sijoittaa oikean määrän valaisimia huoneeseen.

Kun valaisimet on asennettu paikoilleen, aloitetaan laskelman teko. Ohjelma laskee joko kaikkien huoneiden valaisimien valonjaon tai vain halutun huoneen valaisimien valonjaon. Valaisimien valonjaon selvittämiseksi käytetään valaisimen omaa valonjakokäyrää. Laskelman teossa voidaan määritellä myös esim. otetaanko huoneessa ulkoa tuleva valo mukaan laskelmaan. Laskelman valmistuttua huoneen käyttötasoihin ilmestyvät valonjakokäyrät, joita tulkitsemalla voidaan päätellä, onko huoneen valaistus sopiva ja ylettyykö se kaikkialle vai pitääkö valaisimien sijaintia ja määrää muokata ja laskea valonjako uudelleen. Kuvassa 19 on esimerkki itse piirretystä auditoriosta mittojen ja kuvien perusteella.



Kuva 19. Auditorio valokuvana ja DIALux-ohjelmalla piirrettynä.

Kun valaisimien sijoitukseen ollaan tyytyväisiä, voidaan suunnitella erilaisia valaistustilanteita. Esim. auditoriossa on erilaisia valaistustilanteita esitysten katsomista ja luentojen pitämistä varten. DIALuxissa on valaistustilanteet osio, jossa halutut valaisimet siirretään omiin kansioihinsa. Jos valaisin on himmennettävä, myös se määrää voidaan muokata tässä osiossa. Himmennys toimii 0-100 % asteikolla. Kun valaisimet on jaoteltu omiin ryhmiinsä eli kansioihinsa, tehdään uusi valonjaon laskelma, jonka valmistuttua voidaan sammuttaa valoja kansioittain ja tutkia miltä eri valaistustilanteet näyttävät. Kuvassa 20 esimerkki auditorion eri valaistustilanteista.





Kuva 20. DIALuxilla tehtyjä valaistustilanteita.

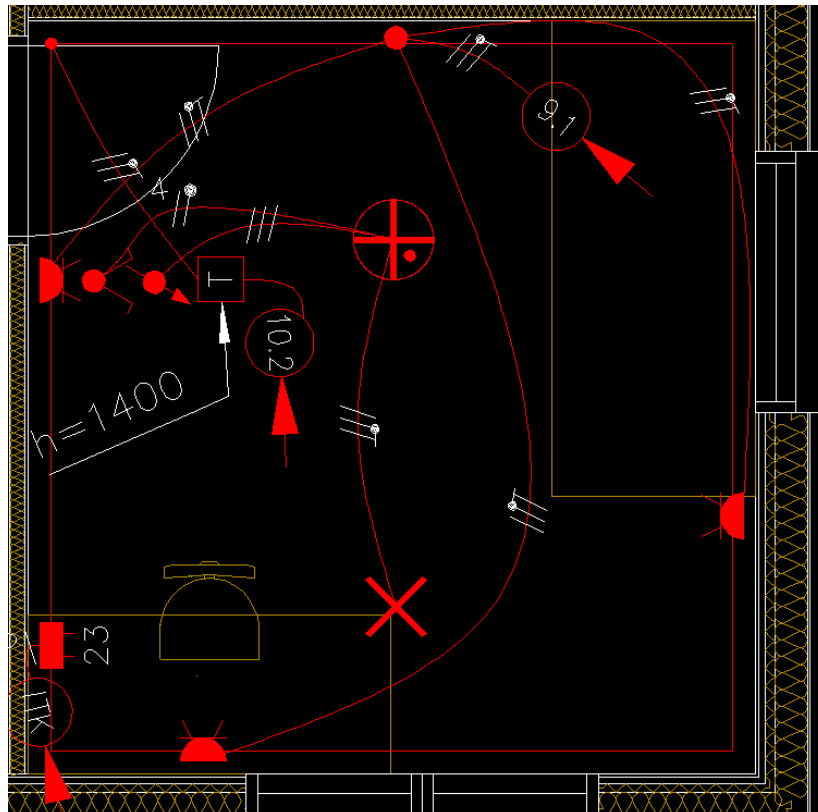
DIALux evo 8.2 -versiossa ohjelman aloitussivulla on linkkejä, joiden tarkoituksena on auttaa DIALuxin käyttäjää ongelmassa ja nopeuttaa ohjelman käyttöä. DIALuxilla on oma YouTube kanava, mikä sisältää sekä harjoitusta että opetusvideoita. Aloitussivun kautta pääsee myös apufoorumiin, jossa on mahdollisuus kysyä apua ja lukea vinkkejä DIALuxin sujuvaan käyttöön. Aloitussivulla on myös mahdollisuus valita valaisin- ja lamppuvalmistaja, esim. Philips, ja ladata suoraan valmistajan valaisimet DIALuxiin käytettäväksi. Valitettavasti suomalaista valaisinvalmistaja Airamia ei esimerkiksi löydy valmiilta listalta, mutta Airamin kotisivuilta saa ladattua ilmaiseksi LDT-valaisintiedostoja ja ne voi siirtää DIALuxiin käytettäväksi.

## 10.2 CADMATIC Electrical

CADMATIC on lisenssipohjainen suunnittelu ohjelmisto. Sillä on useita eri toimialoja, mutta CADMATIC Electrical keskittyy sähkö- ja automaatio-suunnitteluun. Ohjelmalla voidaan piirtää erilaisia teollisuuden ja talotekniikan suunnitelmia ja siihen sisältyy tasokuvat, keskus- ja kaappikaaviot ja piirikaaviot. Kuvat voidaan piirtää joko 2D tai 3D-kuvana tilanteen mukaan ja kuvaa voidaan hyödyntää eri projekteissa tarpeenmukaisesti.

Ohjelmaan voidaan tuoda tuotetiedot suoraan, jolloin ne kulkevat projektin aina projektin mukana. Tuotetiedot on mahdollista saada valmiina olevista tietokannoista, mitkä vaihtelevat valmistajan mukaan. Esimerkiksi sähkönumerot.fi sivuston tietokannasta saadaan tarkat tiedot, sillä Suomessa suurin osa tuotteista löytyy sieltä. Tietokanta päivittyy tiheään, mutta sieltä ei aina välttämättä löydy uusimpia tuotteita. Silloin täytyy turvautua valmistajan tietokantaan, jos sellainen löytyy. Vaihtoehtoisesti voi myös lisätä itse tuotteen tiedot. Ohjelma osaa myös laskea tarvittavan kaapeloinnin määrän, mikäli kuvasta löytyy pohjapiirustuksen mitat ja on oikea mittasuhte.

Kuvassa 21 on esitelty tyypillinen sähköpiirros eräästä huoneesta. Kuvasta käy ilmi kaikki sijoitettavat sähkölaitteet ja niiden asennuspaikat. Kuvaan voidaan merkitä erillisiä tietoja, kuten asennuskorkeus. Vaikka ohjelma osaa päätellä sen käytetyn komponentin mukaisesti. Kuvasta 21 käy myös selväksi johdotustiedot missä voidaan vielä erikseen määritellä johdon asennustapa, korkeus ja johdotustiedot. Kaikille laitteille ei ole symboleita, kuten langattomille laitteille. Vanhat symbolit eivät välttämättä vastaa laitteen nykyistä toimintaa. Tässä tapauksessa joutuu tekemään uuden symbolin ja selostamaan sen erikseen.

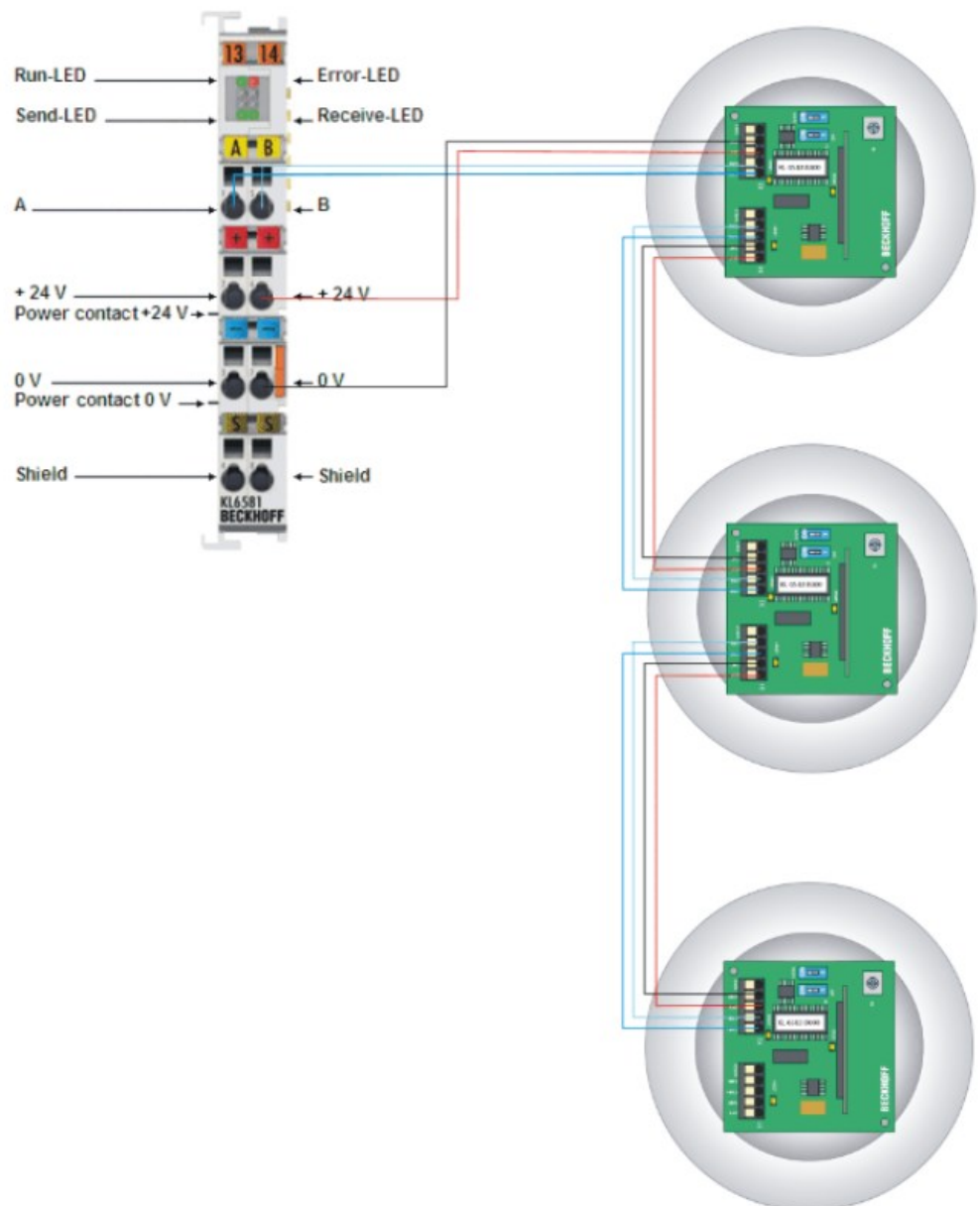


Kuva 21. Tyypillinen sähköpiirros.

## 11 OHJELMOITAVAN LOGIIKAN JA OHJAUSPROTOKOLLAN VALINTA

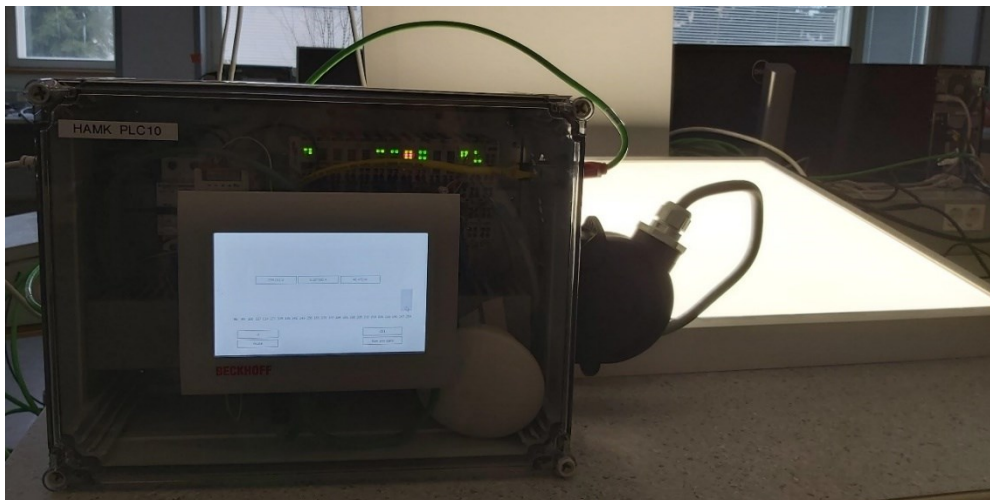
Logiikaksi on valittu Beckhoff, koska koululla on tehty Beckhoff mittauksia aiemmin ja tämän takia koulu myös halusi sen käytettäväksi. Beckhoff ei tue ZigBee-protokollaa, jolloin vaihtoehdoksi jää EnOcean-protokolla. Koululta löytyy jo valmiiksi EnOcean-antureita, joita tullaan käyttämään ohjauksessa. DALI valittiin valaistuksenohjausmenetelmäksi, koska Beckhoffilta löytyy DALI-kortteja, joiden avulla voidaan ohjata 64 valaisinta per kortti. Kortin tunnus on KL6811, jonka avulla valaistusta ohjataan DALI-protokollan mukaisesti.

EnOcean-kortti on KL6581, mikä kommunikoi lähetin-vastaanottimen KL6583 kanssa. Yhteen korttiin voi olla maksimissaan kahdeksan lähetin-vastaanotinta yhdistettynä. Lähetin-vastaanotin vaatii neljä johdinta, kaksi jännitteensyötölle ja kaksi tiedonsiirrolle. Lähetin-vastaanottimet pitää kytkeä sarjaan ja maksimi pituus kaapeloinnille on 500 m. Kuvassa 22 on esitelty esimerkki kaapelointitavasta kortille ja lähetin-vastaanottimille, missä viimeisessä lähetin-vastaanottimessa täytyy olla päätevastus kytkettynä päälle. (Beckhoff, 2019, s.8)



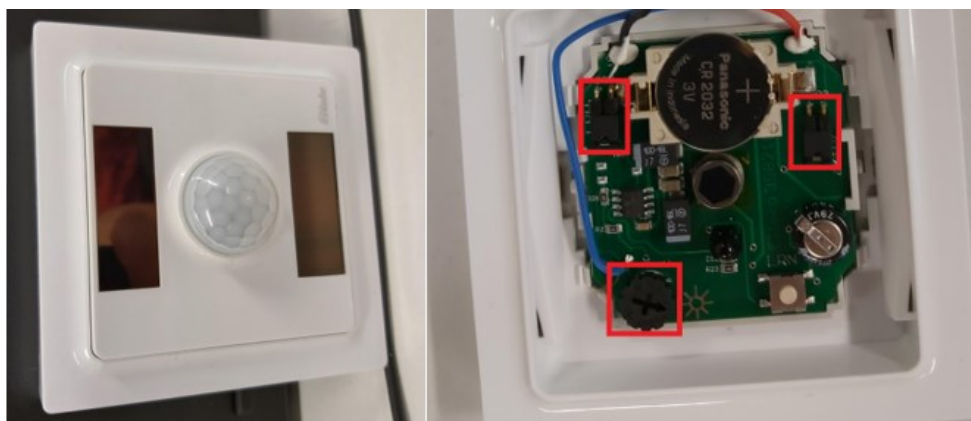
Kuva 22. Esimerkki KL6583 kaapeloinnista. (Beckhoff 2019, s.20)

Näiden komponenttien avulla pystytään suunnittelemaan valaistuksenohjaus käytäviin. Tärkeänä osana lopputyötä on tehonmittaus valaisimista, kun DALIn avulla himmennetään valoa maksimista minimiin. Näin saadaan säästöjä energiankulutukseen ja ohjauksesta saadaan älykkäämpää. Kuvassa 23 näkyy testauksessa käytetty Beckhoff-boksi.



Kuva 23. Testauksessa käytetty Beckhoff boksi ja valaisin.

Liikkeentunnistin anturina käytetään suunnittelussa ja testauksessa Elta-kon TF-BHSB anturia. Anturilla voidaan mitata tilan liikettä, Lux-tietoa ja sen lisäksi saadaan patterin jännitetiedot selville. Lux-tietoa testauksen perusteella ei voida hyödyntää, koska valittuja valaisimia ei ole asennettu paikoilleen, eikä todellista Lux-arvoa ei voida mitata. Anturit sijoitetaan kattoon suunnitelman mukaisesti, koska niiden asennus ja testaus on helppoa. Kuvassa 24 vasemmalla on anturi päältäpäin ja oikealla anturin sisältä löytyvät toiminnot.



Kuva 24. EnOcean-liikkeentunnistimen sisältä löytyvät toiminnot.

Kuvassa 24 alhaalla näkyy potentiometri, jolla voidaan säätää valoisuutta, milloin anturi tunnistaa liikkeen. Kuvassa näkyy myös kaksi jumpperia, jumpperit tulee olla kytkettynä yhteen, jotta tunnistuksen lisäksi anturi kertoo myös Lux-arvon ja patterin jännitearvon. Kun jumpperit ovat kiinni,

anturin EEP-profiili muuttui A5-08-01. Tämän takia sen lähettämä data muuttuu ja ne täytyy selvittää erikseen taulukosta 5.

Taulukko 5. Anturin datan sähke. (Eltako Electronics 2017)

Data Byte	Unit	ARRAY value	Valid range
0	Motion detect	15	No motion
		13	Motion
1	-	-	-
2	Brightness	0-255	0-510 Lux
3	Voltage	0-255	0-5,1 V

## 12 KÄYTÄNNÖN MITTAUKSET

### 12.1 EnOcean-laitteiden kuuluvuus

EnOcean-laitteiden toiminta vaatii vastaanottimen ja lähettimen (KL6583) ja valmistajan mukaan kuuluvuus olisi rakennuksissa 30 m. Koska kyseinen alue, johon suunnitelma tehdään, on käytävä ja kuuluvuus heikkenee esteiden vuoksi. Tämän takia mitattiin KL6583:n kuuluvuutta käyttämällä langattomia kytkimiä ja tätä siirtoprotokollaa käyttävät kaikki EnOceanin langattomat laitteet. Kuvassa 25 näkyy mitatut kuuluvuusalueet suunnitelma-alueelta. Kuvassa alueet on jaoteltu kolmeen eri osaan. Vihreän alueen lähetin-vastaanotin sijoitettiin kirjaston oven eteen, milloin signaali kantautui ATK-luokan 132 eteen. Punaisen alueen lähetin-vastaanotin sijoitettiin puoliväliin käytävälle, milloin signaali meni molemmin puolin auditorion käytävää. Sininen on kolmas alue, mihin signaali saatiin molemmilta alueilta. Kuvaan 25 on merkitty myös mittaamaton paikka symbolilla tähti, mihin sijoitettaisiin lähetin-vastaanotin myös.

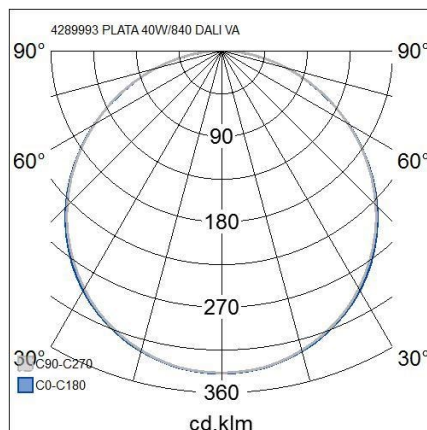


Kuva 25. EnOcean-laitteiden kuuluvuus mittaus.

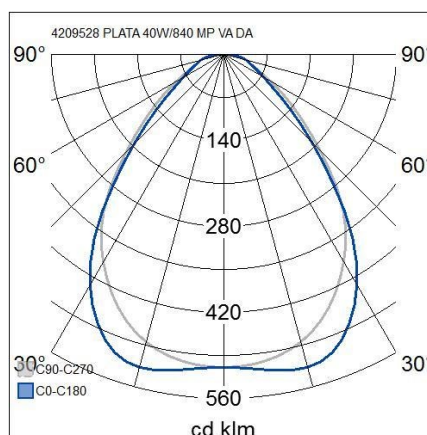
Yksi mittaajista jäi mittauspisteelle ja toinen käveli niin pitkälle, kunnes kyt-  
kin ei antanut signaalia. Mittauspisteitä oli kaksi kappaletta ja kuuluvuus  
riittäisi mahdollisesti jo kahdella KL6583-laitteella. Kolmas laite tuo var-  
muutta ja päällekkäisyyksiä signaaleille, jolloin varmistetaan tiedon kulke-  
minen koko alueella.

## 12.2 Valaisimen tehonkulutus

Valaisimen tehonkulutus mitattiin koululta löydetyin Plata LED 40 W/840  
VA DA-valaisimen avulla. Valaisin on samaa sarjaa kuin käytäviin valitut va-  
laisimet. Erona mittauksissa käytetyssä valaisimessa ja suunnitelmassa  
käytetyssä valaisimessa on mikropriimahäikäisysuojan puute mitattavassa  
valaisimessa. Tämä tarkoittaa sitä, että käytäviin valituissa valaisimissa on  
erilainen valonjakokäyrä. Kuvassa 26 näkyy mitattavan valaisimen valonja-  
kokäyrä ja kuvassa 27 näkyy suunnitelmassa käytettävän valaisimen valon-  
jakokäyrä.



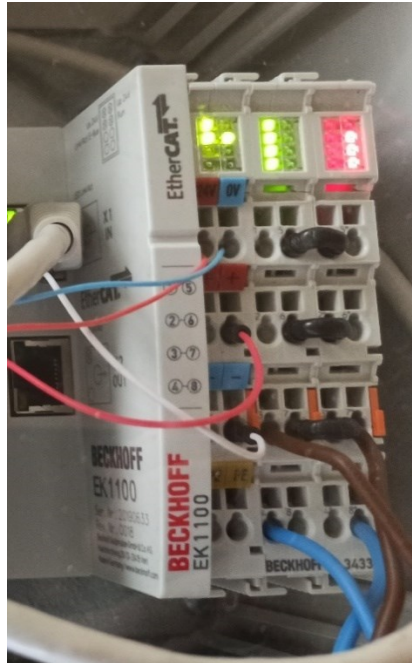
Kuva 26. Mitattavan valaisimen valonjakokäyrä. (Airam n.d.b)



Kuva 27. Suunnitelmassa käytetyn valaisimen valonjakokäyrä. (Airam n.d.c)



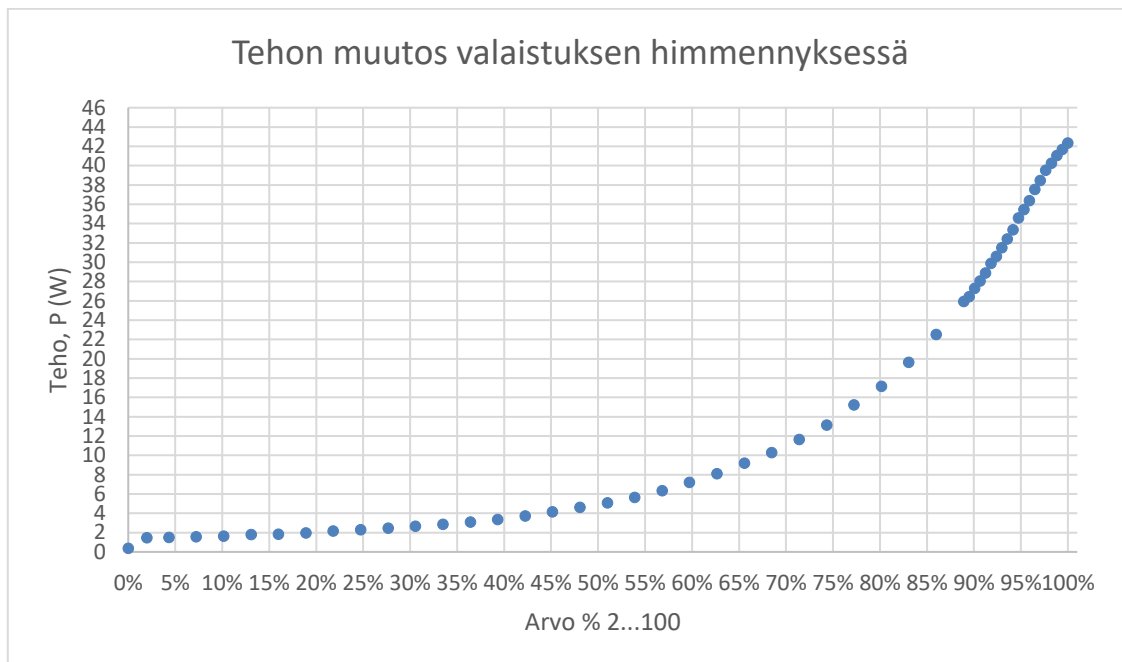
Mittauksen tarkoituksena on tutkia, miten valaisimen himmentäminen vaikuttaa valaisimen tehonkulutukseen. Kuvassa 28 näkyy laboratoriomittauksissa käytetty Beckhoff-laite, joka mittaa valaisimeen syötettävän jännitteen, virran ja tehon. Tämä täytyi kytkeä väyläkorttiin EK1100, sillä suoraan ei voi yhdistää E- ja K-väylää keskenään. Mittaus toteutettiin koulun laboratoriossa, jossa valaisimen ja seinästä tulevan 230 V vaihtojännitteen välille laitettiin Beckhoffin jännitteenmittauskortti EL3433. Kun valaisin sytytetään, virta kulkee kortin läpi ja esittää tulokset turvallisesti Beckhoff-ohjelmaan.



Kuva 28. Beckhoff EL3433 mittauskortti ja EK1100 väyläliitin.

Valaisimen liitäntälaitteen tehonkulutus on jatkuvaa, vaikka itse valaisin olisi sammutettuna. Tämän takia tutkittiin valaisimen tehonkulutusta eri himmennys asteissa. Valaisimen himmennys toimii arvojen 86-254 välillä ja mittauksia tehtiin viiden askeleen välein. Taulukossa 6 näkyy tehonkäyttö suhteessa prosentuaaliseen valaistuksen himmennysarvoon. Kyseisen valaisimen himmennysalue on 2-100 %. Mittauksissa huomattiin tulosten olevan lineaarinen tiettyyn pisteeseen asti. Lineaarisuus loppuu n. 45 % kohdalla, jonka jälkeen tuloksista tulee logaritminen ja tuloksista tulee arvaamattomimpia. Tämän takia mittauksia tehtiin tiheämmällä asteikolla suuremmissa himmennysarvoissa.

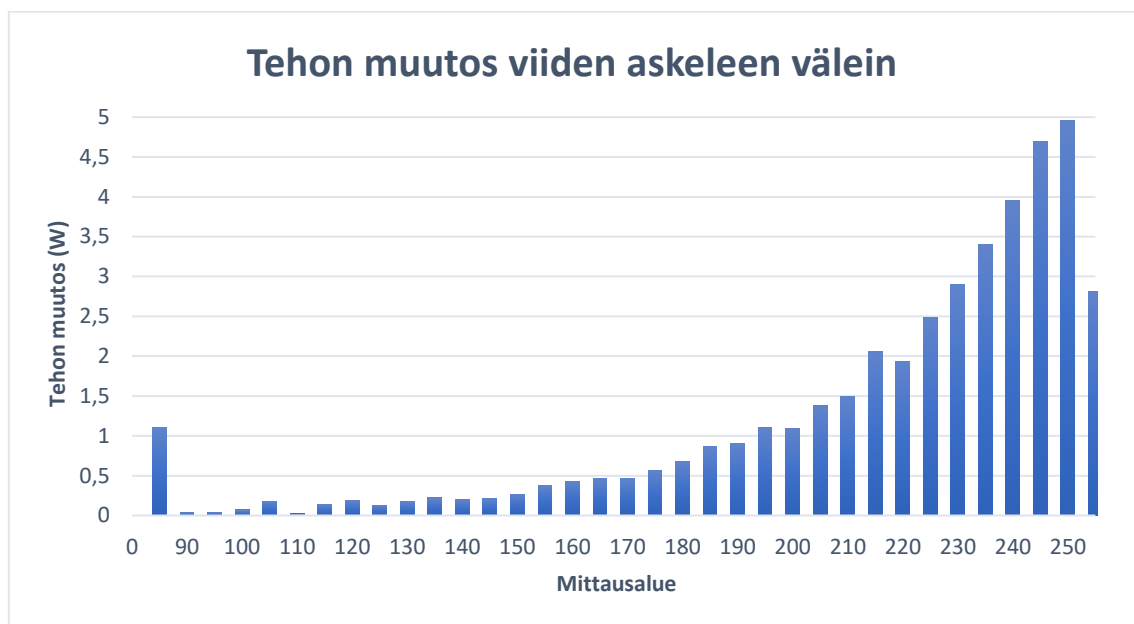
Taulukko 6. Tehon muutos valaisimen himmennyksessä.



Tuloksissa käy ilmi, että tehon lasku himmennykseen verrattuna ei ole lineaarinen. Suurimmat erot mittaustuloksissa näkyvät lukujen 230-245 välillä. Siinä suurin mitattu tehon määrän muutos viiden askeleen välillä on 4,96 W, mikä mitattiin lukujen 245-250 välillä. Prosentuaalisesti siis tehokain himmennyskohta tässä valaisimessa on 86-95 %. Taulukossa 7 näkyy mittaustulosten perusteella näkyvä tehon muutos viiden askeleen mittauksen välein. Tarkemmat mittaustulokset löytyvät liitteestä 7.



Taulukko 7. Valaisimen tehon muutos viiden askeleen välein.



### 12.3 Lux-mittaukset

Valaisimen lampun kirkkauden muutoksia valaisinta himmentäessä tutkitiin myös laboratorio olosuhteissa. Koululta löytyvä 40 W:n Plata-valaisin toimi tässä mitattavana kohteena ja mittaus suoritettiin pimeässä varastotilassa. Koululta löytyvä Lux-mittari toimi mittauksessa käytettävänä mittarina. Valon himmentäminen onnistui Beckhoff-ohjelman avulla, johon on liitetty DALI-kortti, jonka avulla valon himmentäminen onnistuu. Mittauksen tarkoituksena oli myös vertailla mittarilla mitattua dataa ja DIALux-ohjelmalla tehtyä dataa toisiinsa.

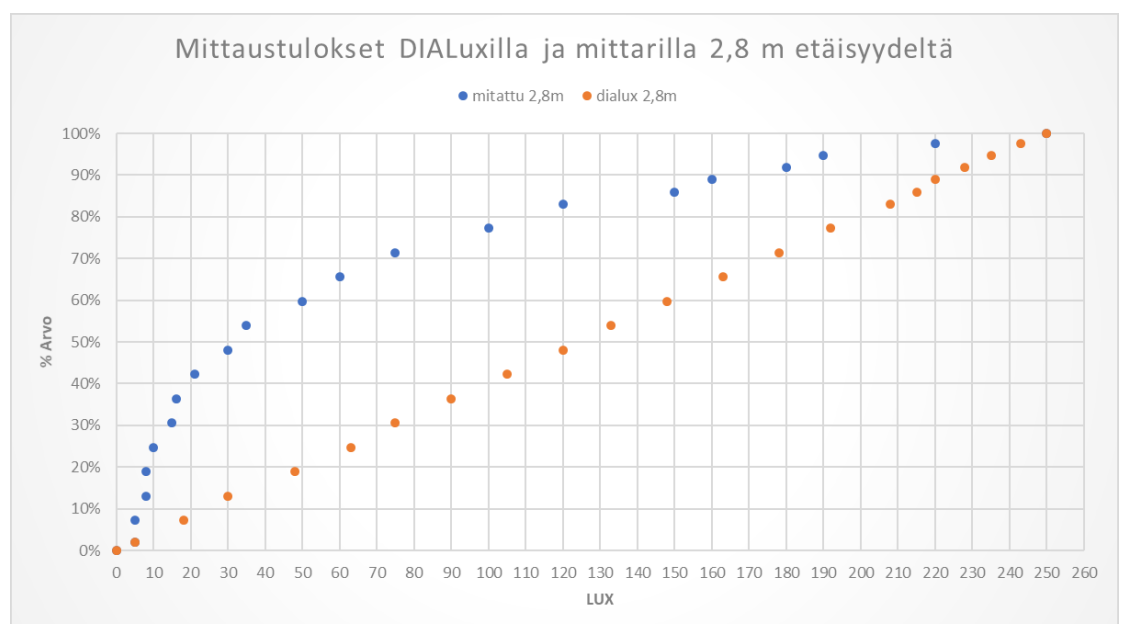
DIALux-ohjelmaan piirrettiin sama varastohuone ja asetettiin sama Plata-valaisin samaan kohtaan, missä se oikeasti oli myös mittaustilanteessa. Myös mittausalue DIALuxissa laitettiin samaan kohtaan, jossa varastossa mitattiin lukemat. Kuvassa 29 vasemmalla näkyy DIALuxilla tehty mittausalue ja oikealla varastossa suoritettu mittausalue.



Kuva 29. Lux-mittausalue DIALuxilla ja todellisuudessa.

Mittaukset suoritettiin kahdella eri matkalla, ensimmäinen mittauskohde oli 1,5 m ja toinen 2,8 m valaisimesta. Mitatun datan perusteella valonkirkkauden muutos himmennykseen verrattuna ei ole lineaarinen. DIALux-ohjelmalla tehty simulaatio tilanteesta taas saa tuloksista lineaarisen. Mielenkiintoista tuloksissa on se, että sekä maksimi- että minimiarvo mittarilla ja DIALuxilla mitatuissa tuloksissa on sama. Taulukosta 8 näkyy 2,8 m:n matkalta mitatut tulokset sekä DIALuxilla että mittarilla. Taulukossa 8 näkee myös hyvin, että mittarilla mitattu tulos ei ole lineaarinen, kun taas DIALuxilla mitattu tulos on.

Taulukko 8. Mittaustulokset kahdella menetelmällä 2,8 m:n etäisyydeltä.



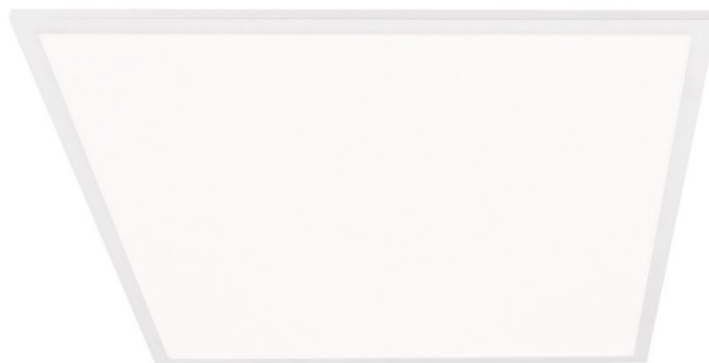
## 13 VALAISTUKSEN SUUNNITTELU

### 13.1 Valaisimien valinta

Valaisimia valittaessa tulee huomioida tietyt kriteerit, jotta valaistus saadaan liitettyä Beckhoffin logiikkaan ja siitä saataisiin mahdollisimman energiatehokas. Valaisimessa tulee olla DALI-liitäntämahdollisuus, koska suunnitelmana on liittää valaistus Beckhoffiin. Siinä käytetään erillistä DALI-korttia, joka mahdollistaa valaistuksen ohjelmoinnin. DALI-valaisimet ovat myös himmennettäviä, mikä on välttämätön ominaisuus tässä projektissa. Valaisimien tulee olla LED-valaisimia, mikä varmistaa, että valaisimet ovat pitkäikäisiä ja energiatehokkaita. Valaistussuunnittelun tärkeänä osana toimii DIALux-ohjelma, johon valitun valaisimen tiedot siirretään LDT-tiedostona. Yhtenä kriteerinä siis on, että valitusta valaisimesta löytyy LDT-tiedosto, jotta suunnitelma voidaan toteuttaa DIALuxilla. Kyseessä on suomalainen koulu, joten kotimaisuus halutaan tuoda esille valaisinvalinnassa, siksi valaisimet valitaan suomalaiselta tuottajalta.

Tällä hetkellä valaistus käytävissä on toteutettu uppoasennuksella, joten tämän ja myös käytävien matalan korkeuden takia asennus halutaan toteuttaa uppoasennuksella. Valaisinmäärä halutaan pitää kohtuullisena, sillä tällä hetkellä valaisimia on huomattava määrä alueen kokoon nähden.

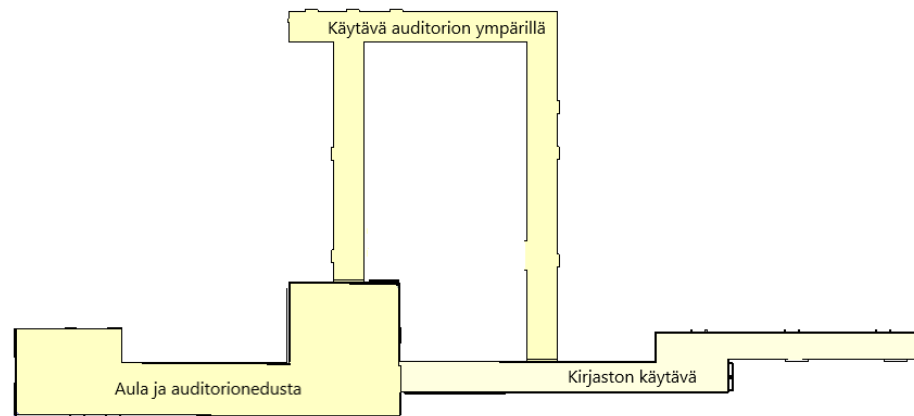
Valaisimeksi valittiin Airam-Plata-sarjasta 40 W/840 MP VA DA eli valaisimen teho on 40 W. Värintoistoindeksi ja värilämpötila on yhdistetty luvuksi 840, jossa 8 (80-90) ilmoittaa värintoistoluokan ja 40 (4000 K) kertoo lampun värilämpötilan. MP tarkoittaa mikroprismahäikäisy-suojaa, jolla luodaan optimaalinen valonjako. Tämän avulla valo jakautuu niin, että häikäisy on pientä. VA tarkoittaa LED-valaisimen tuottamaa väriä eli väri tässä valaisimessa on valkoinen. DA-lyhenne tarkoittaa sitä, että kyseinen valaisin sisältää DALI-liitäntän. Valaisin on kattoon upotettava. Kuvassa 30 näkyy suunnitelmiin valittu Plata-valaisin.



Kuva 30. Suunnitelmiin valittu Plata 40 W/840 MP VA DA-valaisin. (Airam n.d.d)

### 13.2 Valaisimien sijoitus

Valaisimien sijoitus toteutettiin DIALux-ohjelman avulla. Koulusta saadun CAD-kuvan avulla pystyttiin piirtämään suunnittelualueet tarkasti DIALux-ohjelmaan. Tällä hetkellä suunnittelualueella on 89 valaisinta ja DIALux-ohjelman avulla mitoitettuna uusia Plata-valaisimia samalle alueelle tulisi 35. Valaisimet ovat 40 W eli melko kirkkaita. Suunnitelmana kuitenkin on himmentää valaisimia n. 20 %, jolloin mittauksista saatujen tulosten perusteella valaisimet ovat kaikkein energiatehokkaimpia. Kuvassa 31 näkyy alue, johon valaistus tulisi suunnitella. Kuten kuvasta 31 käy ilmi, alue on kapea ja suurimmaksi osaksi käytävää. Suunnitelma on jaoteltu kolmeen osaan, jotta antureiden ja valaisimien sijainti voidaan paremmin esittää kuvissa. Ensimmäinen alue on käytävä auditorion ympärillä, toinen on aula ja auditorion edusta ja kolmas on kirjaston käytävä.

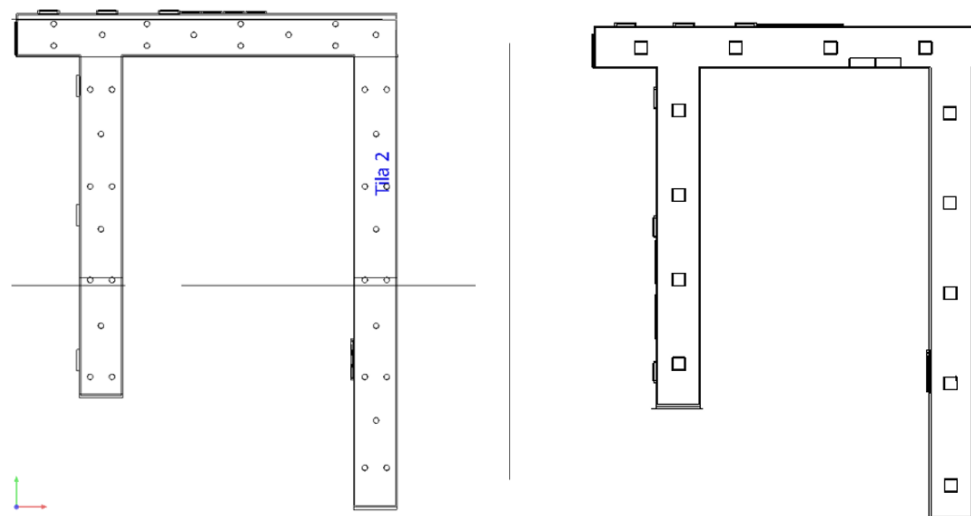


Kuva 31. Valaistuksen suunnittelualue.

Ainoa asia mitä CAD-kuvista ei selviä on käytävien korkeus. Tämän takia kaikki käytävien korkeudet käytiin mittaamassa rullamitalla. Korkeuserot ovat huomattavat ison aulan ja käytävien välillä. Käytävät ovat korkeudeltaan 2,3 m ja aula kolme metriä. DIALuxilla valon himmentäminen verrattuna mitattuihin himmennyksestä saatuihin tuloksiin oli sen verran erilainen, että DIALuxilla laskettuihin himmennysarvoihin ei voi luottaa. Täten asennusvaiheessa tulee mitata Lux-mittarilla Lux-arvot ja mitattujen arvojen mukaan himmentää valaistus oikeanlaiseksi. Samalla pitää tavoitella 20 %:n himmennystä, jossa energiatehokkuus toteutuu parhaiten.

Auditorion ympärillä kulkeva käytävä, jonka varrella on opettajanhuoneita ja luokkia, on kaksi metriä leveä. Sen takia käytävässä ei ole huonekaluja lukuun ottamatta opiskelijoille tarkoitettuja kaappilokeroita ja muutamaa penkkiä. Vertauksen takia luotiin kaksi suunnitelmaa: vanhat alasvalot vanhoilla asennuspaikoillaan ja toisessa uudet Plata-valaisimet uusilla asennuspaikoillaan. Kuvassa 32 vasemmalla näkyy vanhoihin asennuspaikkoihin asennetut valaisimet ja oikealla uusilla asennuspaikoilla varustetut Plata-valaisimet. Valaisimien määrän ero on huomattava. Tällä hetkellä käytävässä on 39 valaisinta vanhoilla asennuspaikoilla ja uudessa

suunnitelmassa valaisimia on 13. Kuvassa 33 näkyy havainnekuvaa DIALuxilla tehdystä suunnitelmasta, miltä Plata-valaisimet näyttäisivät auditorion ympärillä kulkevassa käytävässä.



Kuva 32. Käytävä auditorion ympärillä. Vasemmalla vanhat alasvalot omissa asennuspaikoissaan ja oikealla uudet Plata-valaisimet uusissa asennuspaikoissaan.

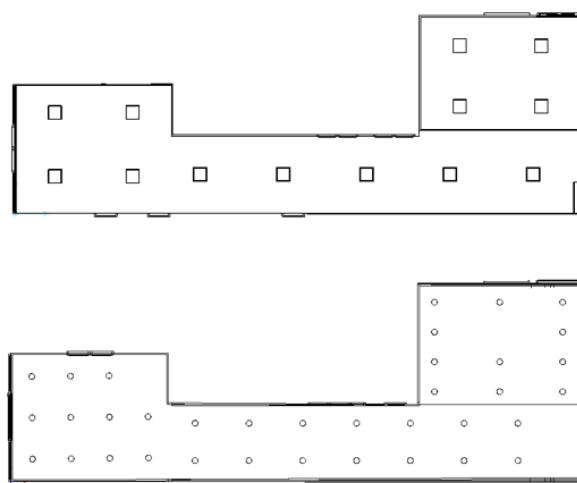


Kuva 33. Auditorion ympärillä oleva käytävä. DIALuxilla suunniteltu valaistussuunnitelma.

Aulatila ja auditorion edusta ovat samassa tilassa, mutta niissä on korkeuseroa. Aulatilalla on kolme metriä ja auditorion edusta on 2,4 m. Auditorion edusta toimii myös takkinaulakoiden sijaintina. Aulatilasta on kulku ns. rappukäytävään sekä laboratorioon ja ATK-luokkaan. Aulatila ja auditorion edusta ovat avoimempia kuin käytävä auditorion ympärillä ja luonnonvaloa pääsee myös sisään tähän tilaan.

Kuvassa 34 näkyy ylhäällä vanhat valaisimet asennuspaikoillaan ja alhaalla suunnittelussa käytetyt Plata-valaisimet uusilla asennuspaikoillaan. Tällä hetkellä valaisimia aula- ja auditorion edustatilassa on 36 valaisinta ja

uudessa suunnitelmassa tarvittaisiin määräysten mukaisen Lux-määrän saavuttamiseksi 13 Plata-valaisinta. Kuvassa 35 näkyy havainnekuva, joka on tehty DIALuxilla ja kuvaa aulaa ja auditorion edustaa.

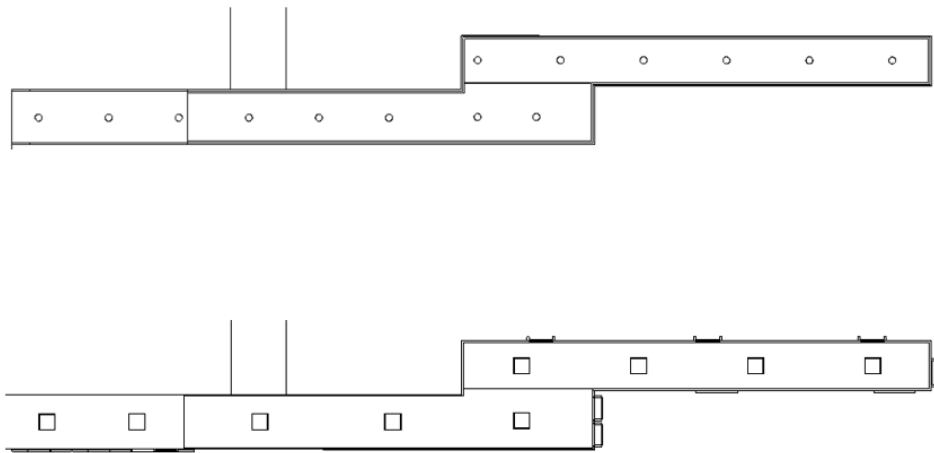


Kuva 34. Aulatila ja auditorion edusta. Ylhäällä nykyisien valaisimien asennuspaikat ja alhaalla uusien Plata-valaisimien uudet asennuspaikat.



Kuva 35. Aula ja auditorion edustatilojen DIALux-valaistussuunnitelma.

Kirjastokäytävä on leveydeltään ja korkeudeltaan sama kuin auditorion ympärillä menevä käytävä. Pieni korkeusero on kirjaston ohi jatkuvassa käytävässä sekä kirjastoon päin menevässä käytävässä (n. 20 cm). Käytävän varrella on opettajanhuoneita sekä kirjasto ja käytävän päädyssä pieni luokkahuone. Tällä hetkellä valaisimia kirjastokäytävällä on 14 kpl ja Plata-valaisimilla tehdyssä suunnitelmassa valaisimia tulisi olemaan yhdeksän kappaletta. Kuvassa 36 näkyy ylhäällä vanhat valaisinpaikat sekä alhaalla Plata-valaisimilla tehdyssä suunnitelmassa uudet valaisinpaikat. Kuvassa 37 näkyy DIALux-valaistusohjelmalla tehty suunnitelma, missä näkyy, kuinka valot sulautuvat kattoon ja jakavat valon tasaisesti käytävätilaan.



Kuva 36. Kirjastokäytävä. Ylhäällä vanhat valaisimet vanhoissa asennuspaikoissa. Alhaalla Plata-valaisimet uusissa asennuspaikoissa.



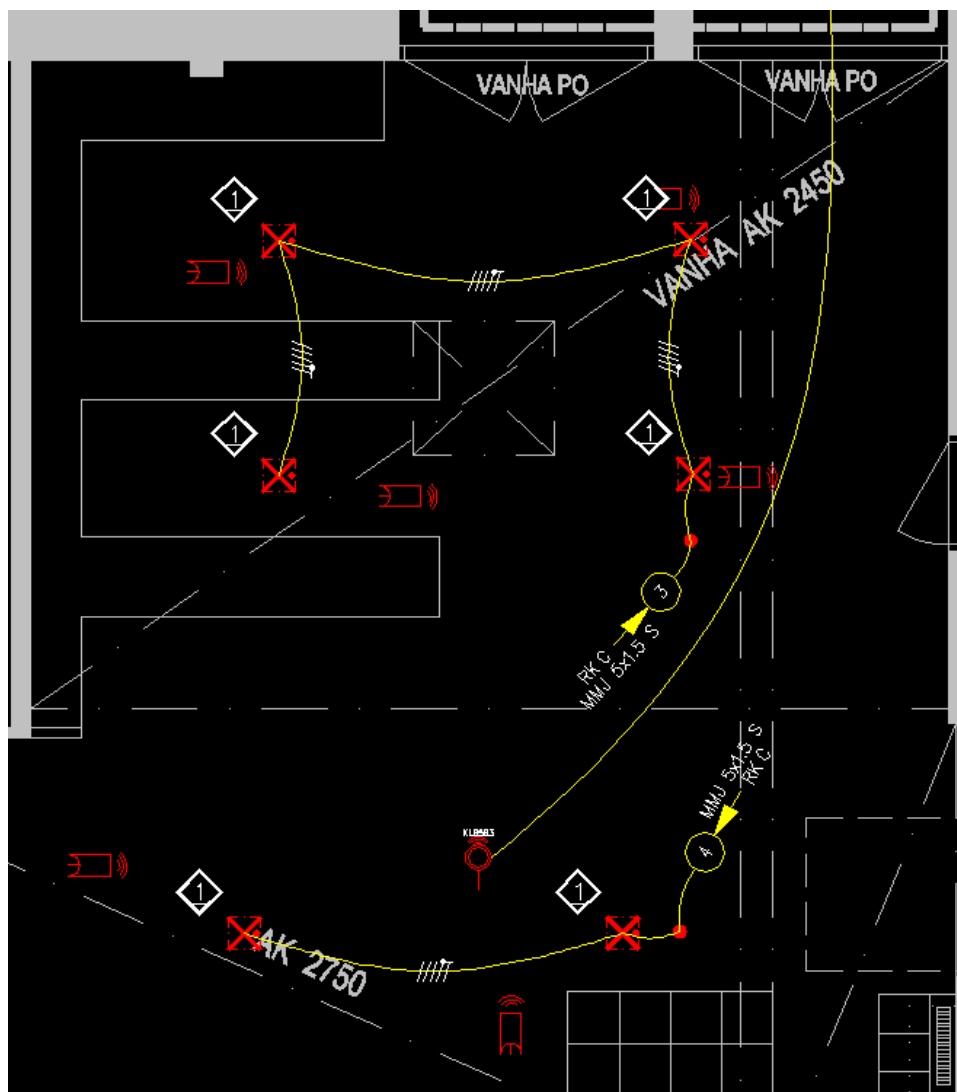
Kuva 37. Kirjastokäytävän DIALux-valaistussuunnitelma.

### 13.3 Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelu toteutettiin vain suunnittelualueelle ja tasokuvia ei ollut valmiiksi sähköisenä versiona, joten ne piirrettiin arkkitehtipohjaan mitta-kaavalla 1:50. Pohjakuvassa kaikki mittatiedot eivät pitäneet paikkaansa ja käytävien korkeudet mitattiin paikan päällä. Kaikki kuvaan piirretyt komponentit ovat kattoon asennettavia. Valaisimet ja anturit on sijoitettu valaistus suunnitelman mukaisesti. Valaisimille merkittiin oma positionumero ja kaikki suunnitelman valaisimet ovat samanlaisia. DALI-osoitteet annetaan vasta myöhemmin ohjelmassa, eikä niitä voi suunnittelu vaiheessa merkitä tasokuvaan lisätietona.

Sähkönsyöttö pidettiin nykyisestä ryhmäkeskuksesta, jota suunnittelualueella oli kaksi kappaletta. Auditorion käytävän ympäri oli oma ryhmäkeskus ja se merkittiin tunnuksella D. Loput sähkönsyötöstä on piirretty ryhmäkeskuksesta, joka sijaitsee osiossa C eli kirjaston edessä. Tästä ei ollut tietoa tuleeko aulan ja ATK-luokan edustan sähkönsyöttö sieltä. PLC:n sijoitus suunniteltiin myös ryhmäkeskukseen C, mistä tuodaan vain kaapelointi EnOcean-lähetin-vastaanottimille.

Kaapelointi valaisimille tulee MMJ 5x1,5 S ja valaisimet on ketjutettu käytävittäin ja aulassa ryhmitelty DALI-ryhmien mukaisesti. Lähetin-vastaanottimet saavat käyttöjännitteen PLC:n kautta 24 V ja niille käytettiin väyläkaapelia NOMAK-HF 2x2x0,5+0,5. KL6583 kaapelointi tulee suorittaa suunnitelman mukaisesti, sillä ainut tapa on sarjakytkentä. Suunnitelmassa viimeiseksi laitteeksi jäi aulan edustalla sijaitseva, koska siitä voitaisiin tulevaisuudessa jatkaa uudelle laitteelle paremmin. Kuvassa 38 on tasokuva aulasta.

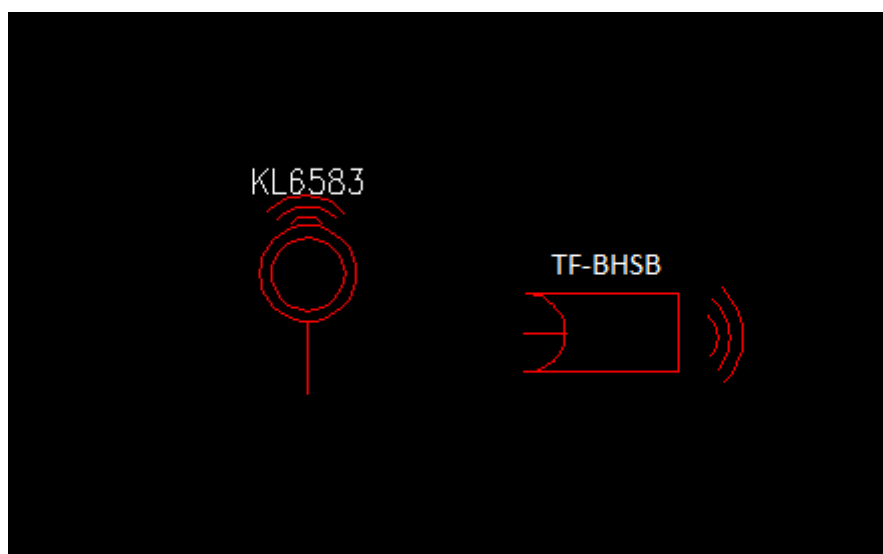


Kuva 38. Tasokuva aulasta.



Kaapeloinnissa voidaan hyödyntää nykyistä kaapelointia MMJ 3x1,5 S ja sen vuoksi valaisimille täytyisi tuoda vain DALI-väyläkaapeli. DALI-kaapelointi voidaan ketjuttaa erikseen esimerkiksi riviliittimille ryhmäkeskuksessa tai ketjuttaa suoraan valaisimesta toiseen. Se riippuu lopullisesta kaapelointi tavasta mikä on järkevin toteuttaa. Ohjelma laski MMJ 5x1,5 S kaapelia menevän 294 m ja NOMAK väyläkaapelia 64 m eli yhteensä noin 358 m. Kaapelia voidaan myös säästää ketjuttamalla useampi valaisin yhteen, sillä valaisimen tehon kulutus on suhteellisen pieni eikä ylitä 10 A sulakkeen rajaa.

EnOcean-laitteille täytyi tehdä uudet symbolit, missä pyrittiin pitämään ne mahdollisimman lähellä vastaavaa symbolia. Langattoman signaali pyrittiin tuomaan kuvassa 39 mahdollisimman selkeästi ylös ja lähetin-vastaanottimissa lukee sen moduulinumero.



Kuva 39. Symbolit lähetin-vastaanottimelle ja anturille.

## 14 ADAPTIIVISEN OHJAUKSEN SUUNNITTELU

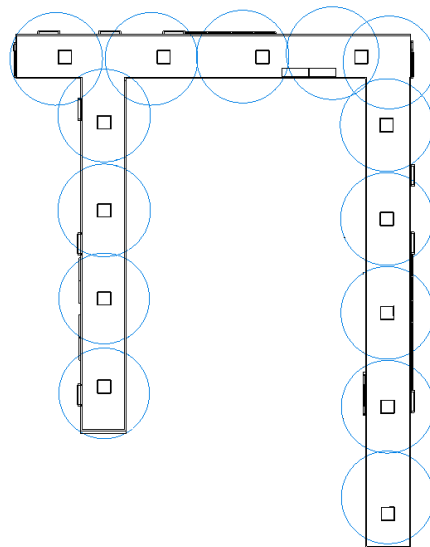
### 14.1 Antureiden valinta ja sijoitus

Liikkeentunnistusantureiksi on valittu EnOcean-tekniikalla toimivat Eltakon Tap-radio motion/brightness sensor TF-BHSB. Anturit valittiin, koska tiloissa haluttiin käyttää langatonta tekniikkaa ja näin säästytään kaapelointikustannuksilta. Tähän tiettyyn anturiin päädyttiin, koska koululta löytyi kyseisiä antureita ja näiden avulla pystyttiin testaamaan valaistuksen ohjausta. Asennus tapahtuu kaksipuolisella teipillä tai ruuveilla kattoon. Virran anturi saa patterista tai vaihtoehtoisesti akusta. Anturin manuaalissa kerrotaan pattereiden kestävän jopa kolme vuotta. Anturin akku latautuu kahden pienen aurinkokennon avulla. Suunnitelmana on, että

Beckhoff-ohjelma seuraa pattereiden tilaa, ja kun patteri jossain anturissa on lopussa, ohjelma ilmoittaa siitä HMI-näytölle.

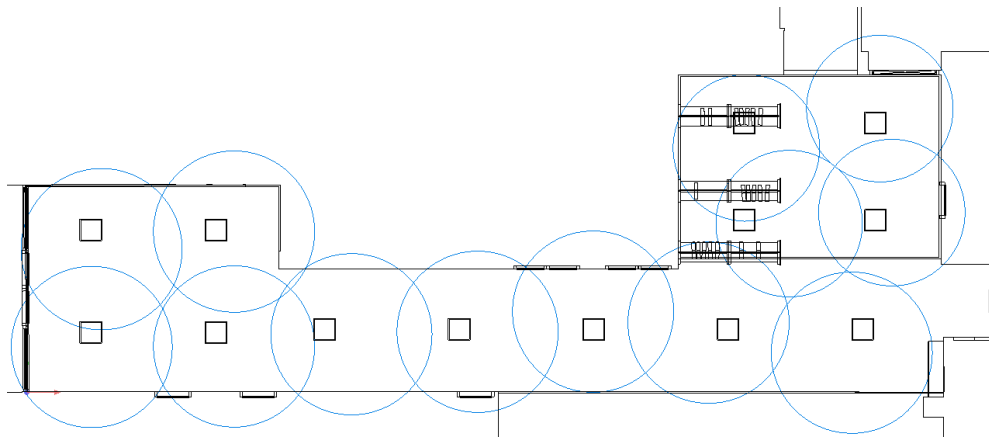
Antureiden tunnistusmatkan on luvattu olevan 2,5 m:n korkeudessa neljä metriä. Anturi asennettiin n. 2,3 m:n korkeuteen kattoon ja mitattiin miten kaukaa se tunnistaa. Anturi tunnisti hyvin heittelevästi, joskus pienestä liikkeestä ja joskus piti hyppiä, jotta anturi reagoisi.

Jotta tunnistus onnistuisi kaikilla alueilla, tulee antureita olla hyvin monta lyhyen tunnistusmatkan takia. Kuvassa 40 näkyy auditorion ympärille suunnitellut antureiden paikat. Yksi ympyrä kuvaa aina yhtä liikkeentunnistusanturia, jonka tunnistussäde kahden metrin korkeudessa on n. kaksi metriä. Tunnistimia tulee yhteensä auditorion ympärillä olevaan käytävään 14 kpl.



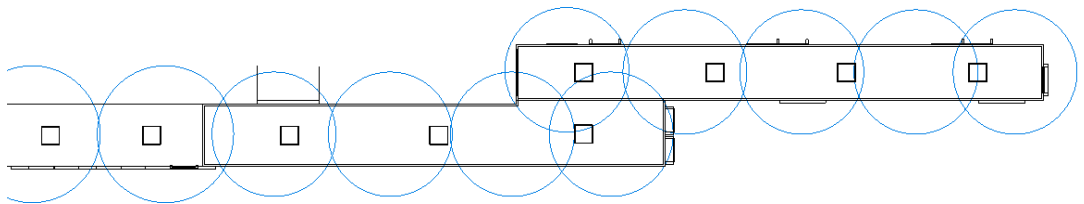
Kuva 40. Auditorion ympäri kulkevan käytävän liikkeentunnistusantureiden sijainnit ja kuuluvuusmatka.

Aulatilassa huonekorkeus on n. kolme metriä, joten liikkeentunnistusantureiden tunnistusalue on anturin manuaalin mukaan 2,5 m:n säde. Antureita tarvitaan silti huomattava määrä, koska alue on laaja ja jokainen kohta alueesta tulisi olla tunnistettavissa antureilla. Auditorion edustan huonekorkeus on kaksi metriä, joten liikkeentunnistusalue on sama kuin käytävissä eli kaksi metriä. Auditorion edustalla on ongelmana takkinaulakoiden korkeus kattoon nähden. Jos ihminen liikkuu naulakoiden välissä, voi olla mahdollista, että tunnistimet eivät näe tätä liikettä. Kuvassa 41 näkyy aulaan ja auditorion edustalle suunnitellut antureiden paikat ja niiden kuuluvuusalueet. Yhteensä antureita tulisi tällä alueella olemaan 13 kpl.



Kuva 41. Liikkeentunnistusantureiden suunnitellut sijainnit aulassa ja auditorion edustalla.

Kirjaston käytävässä huonekorkeus on sama kuin muissakin käytävissä eli 2,5 m:n säde. Käytävä on selkeämpi mitoittaa antureille, koska yksi anturi kattaa koko matkan kahden metrin levyisellä käytävällä. Siten suunnilleen koko käytävään voidaan laittaa liikkeentunnistusanturit kahteen pitkään riviin. Kuvassa 42 näkyy liikkeentunnistusantureiden sijainnit ja kuuluvuusalueet kirjaston käytävällä. Yhteensä liikkeentunnistusantureita kirjaston käytävällä tulisi olemaan 11 kpl.



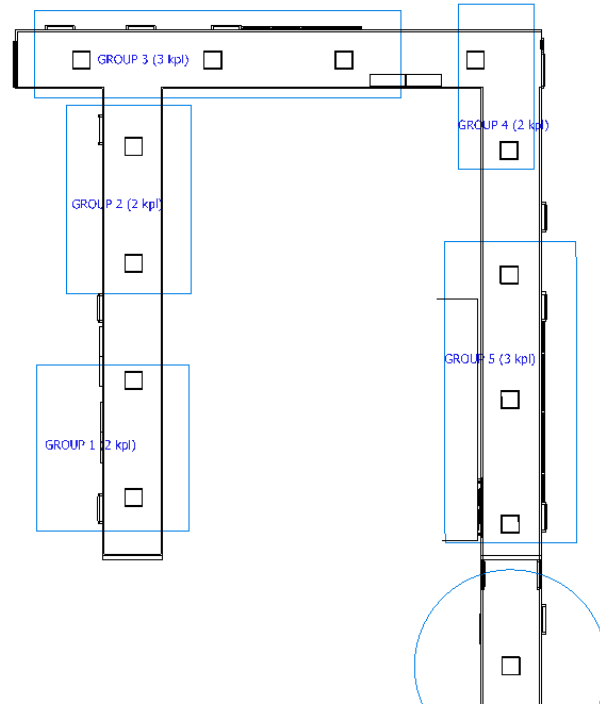
Kuva 42. Liikkeentunnistusantureiden suunnitellut sijainnit ja kuuluvuusalueet kirjaston käytävällä.

Jos näitä antureita käytetään toteutuksessa, tulisi antureita olemaan yhteensä 38 kpl. Tämä on suuri määrä eli voi melkein todeta, että jokaista valaisinta kohti pitäisi olla oma liikkeentunnistimensa.

## 14.2 Ohjauksen suunniteltu toiminta

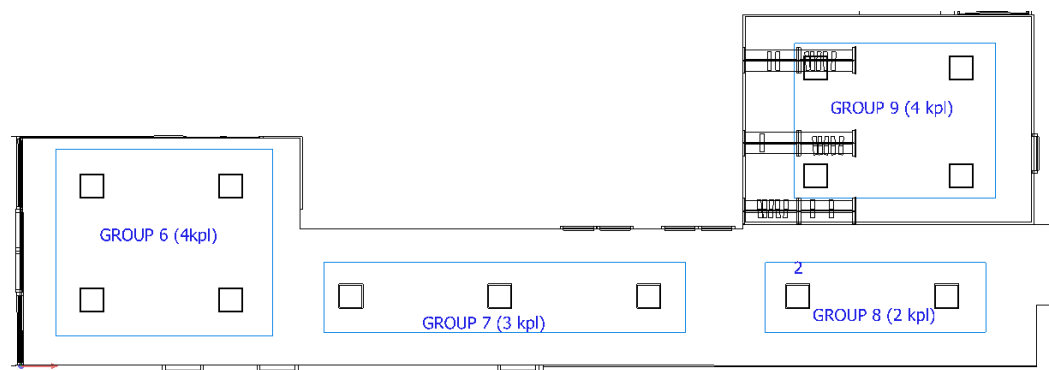
Jokainen valaisin suunnitelmassa kuuluu johonkin ryhmään, joiden avulla valaisimet saadaan toimimaan halutulla tavalla. Ryhmiä voi yhdessä Beckhoff-kortissa olla 16 ja valaisimen liitäntälaitte voidaan osoittaa 16 eri ryhmään. Ryhmiä tulee tässä suunnitelmassa olemaan 12 kpl, joten neljä ryhmää jää vielä vapaaksi tälle DALI-kortille. Jos tarvitaan lisää ryhmiä, voidaan aina lisätä uusi DALI-kortti Beckhoffiin ja näin saadaan lisättyä 16 kpl ryhmää järjestelmään.

Käytävä auditorion ympärillä on mutkikkain suunnitella, sillä alueella on paljon opettajanhuoneita ja luokkia sekä pari ulko-ovea. Alueella liikutaan siis paljon ja käytävään voidaan ilmaantua useasta eri paikasta. Suunnitelma tulee toteuttaa siten, että ovien ympärillä olevat valot syttyvät aina, kun jostain ovesta ilmaannutaan käytävään. Tästä syystä tällä alueella on eniten ryhmiä, joita käytävään auditorion ympärillä tulee viisi kappaletta. Kuvassa 43 näkyy auditorion ympärillä olevan käytävän ryhmät.



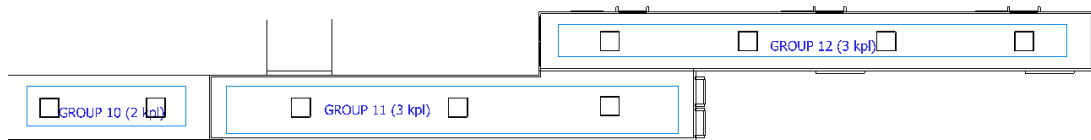
Kuva 43. Ryhmät käytävällä auditorion ympärillä.

Aulan ja auditorion edustalle ryhmiä tulee vähemmän kuin auditorion ympärillä olevaan käytävään. Syy tähän on selkeästi se, että aulassa ovia on vähemmän kuin käytävässä ja tila on avoin. Auditorion edustalla olevat valaisimet ovat yksi oma ryhmä. Kuvassa 44 näkyy aulan ja auditorion edustan ryhmät, joita on alueella neljä kappaletta.



Kuva 44. Ryhmät aulan ja auditorionedustan alueella.

Kirjaston käytävällä ryhmät voidaan suunnitella käytävittäin. Ryhmiä tulee kirjaston käytävään kolme kappaletta. Ensimmäisessä ryhmässä ovat valaisimet, jotka ovat aulan suunnasta tultaessa ensimmäiset. Huonekorkeus on tässä kohtaa kolme metriä, niin kuin aulassakin. Loput kaksi ryhmää ovat käytävittäin jaoteltuja. Kuvassa 45 näkyy kirjastokäytäväalueen ryhmät.



Kuva 45. Ryhmät kirjaston käytävän alueella.

Kun antureiden paikat, valaisimien paikat ja ryhmät on päätetty, voidaan suunnitella valaisimien ohjaus. Lopputuloksena on kokonaisuus, jossa liikkeentunnistin tunnistaa liikkeen. Ryhmä, johon anturi kuuluu, antaa viestin saman ryhmän valaisimille ja ne syttyvät haluttuun kirkkauteen. Liikkeen-tunnistusanturit antavat pulssitiedon aina kahden minuutin välein. Tämä tarkoittaa sitä, että valaisimet eivät himmene kahteen minuuttiin siitä, kun ne ovat viimeksi nähneet liikettä. Tämä myös poistaa sen mahdollisuuden, että ohjauksesta voisi tehdä täysin älykkään. Silloin ryhmän valaisimet himmenisivät heti, jos ryhmän anturit eivät havaitse liikettä. Tässä suunnitelmassa liikkeen havaitsemisen jälkeen valaisimet himmenevät kahden minuutin jälkeen, jos anturit eivät ole tunnistaneet liikettä.

Valaisimet eivät siis sammu, kun anturit eivät tunnista liikettä. Kun anturi tunnistaa liikettä, valaisimet ohjataan 80 %:iin maksimikirkkaudesta, mikä mittauksissa selvisi olevan energiatehokkain kohta Plata-valaisimissa. Kun anturi ei tunnista liikettä, kirkkausarvo lasketaan 20 %:iin minimistä. Aika-ohjauksella toteutetaan valojen sammutus, jos liikettä ei näy yöaikana. Kuvassa 46 näkyy DIALuxilla tehty simulaatio valojen ohjauksesta, jossa valot syttyvät ryhmittäin liikkeentunnistimien tunnistuessa liikettä. Liitteissä 1-6 näkyy DIALuxilla tehdyt Lux-laskelmat 80 % kirkkaudella ja 20 % kirkkaudella.



Kuva 46. DIALuxilla tehty simulaatio valojen ohjauksen toiminnasta.

### 14.3 Takaisinmaksu

Valaisimien takaisinmaksussa tulee tietää nykyisten valaisimien kokonaisteho, uusien valaisimien kokonaisteho, uusien valaisimien kappalemäärä, uuden valaisimen hinta, asennuskustannukset, sähkön hinta sekä valaisimien käyttöasete suhteessa vuoden kaikkiin tunteihin. Valaisimien takaisinmaksun selvittämiseksi käytetään kaavaa 1, joka saatiin koululta.

$$\frac{\text{uudenvalaisimen hinta} \cdot \text{uusienvalaisimien kpl} + \text{asennuskustannukset (€)}}{\frac{(\text{nyk.kokonaisteho} - \text{uus.kokonaisteho})}{1000} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ päivää} \cdot \text{sähkön.h} \left( \frac{\text{snt}}{\text{kWh}} \right) \cdot \text{k.aste}} \quad (1)$$

Nykyisiä valaisimia on alueella 89 kpl ja niiden teho on 32 W. Uusia Plata-valaisimia tarvittaisiin samalle alueelle nykyisten valaisimien korvaajaksi 35 kpl ja näiden teho on 40 W. Uuden Plata-valaisimen hinta on n. 124 €/kpl. Koululta kysyttiin arviota, kuinka paljon asennuskustannukset voisivat olla. Asennuskustannuksissa päädyttiin n. 2 000 euroon. Sähkön hintaksi lasketaan n. 0,15 snt/kWh. Käyttöasteeksi laitetaan 0,7.

Takaisinmaksuaika kaavan (1) mukaan valaisimien takaisinmaksu olisi 4,76 vuotta. Tämä ei ole pitkä aika takaisinmaksuun, kun kyseessä on koulurakennus, jossa toiminta jatkuu vielä vuosien päästäkin. Takaisinmaksukaavassa uusien valaisimien tehoksi annettiin 40 W, mutta tarkoituksena on himmentää valaisimia n. 20 % maksimista, joten tällöin myös takaisinmaksuaika pienenee.

Mittauksista saadun datan mukaan suunnittelualueelle tarvitaan kolme Beckhoffin KL6583 EnOcean-lähetin-vastaanottimia. Suomalaisista verkko-kaupoista ei löydy tämän tuotteen hintoja, mutta saksalaisessa verkkokaupassa hinta tälle vastaanottimelle on n. 200 €/kpl. Jos koko suunnittelualue halutaan liiketunnistuksen piiriin, tämä vaatii merkittävän määrän

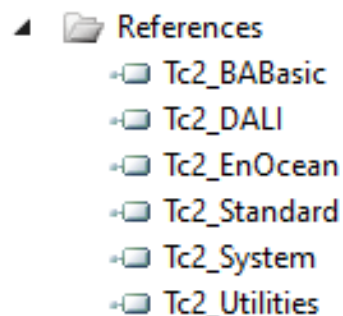
liiketunnistimia. Suunnitelman mukaan alue vaatisi 38 kpl liiketunnistimia, jotta koko alue olisi tunnistuksen piirissä. Yksi Eltakon Tap-radio TF-BHSB anturi maksaa n. 75 €.

Takaisinmaksuaika muuttuu, jos siihen otetaan mukaan tarvittavat vastaanottimet, joiden hinnaksi tulee n. 600 €. Antureiden kokonaishinnaksi tulee n. 2850 €. Lisäksi valaisimien himmennys, joiden tehoksi mittauksien mukaan tulee 20 %:n himmennyksessä n. 17 W, jolloin uudeksi kokonaistehoksi Plata-valaisimilla tulisi 595 W. Asennuskustannuksiin lisätään antureiden ja lähetin-vastaanottimien hinta.

Näillä tiedoilla takaisinmaksuajaksi tulisi 4,72 vuotta. Vaikka takaisinmaksuun lisätään lähetin-vastaanottimet sekä huomattava määrä liikkeen tunnistusantureita, takaisinmaksuaika pysyy samoissa lukemissa. Tähän tulokseen päästään valaisimien himmennuksen avulla.

## 15 OHJAUKSEN TOTEUTUS

Ohjelmointi tapahtui Beckhoff TwinCat 3 ohjelmalla. Ohjelmaan on integroitu Microsoft Visual Studio ja sen avulla saadaan perus Microsoft Office ohjelmat toimimaan TwinCat yhteydessä. Ohjelmalla voidaan seurata prosessia reaaliajassa ja tehdä tarvittavia muutoksia. Projektissa käytettiin DALI- ja EnOcean-laitteita, joten niiden käyttö ohjelman omilla kirjastoilla on helppoa, jotka ovat esitelty kuvassa 47.



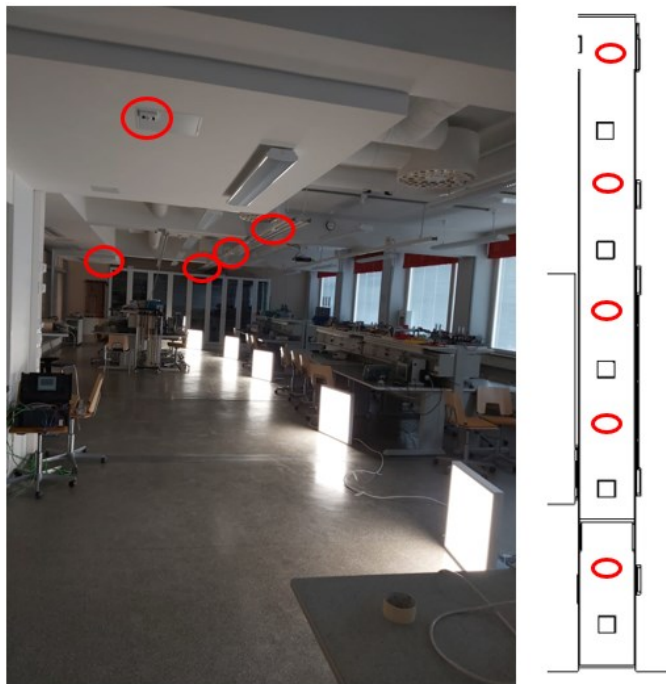
Kuva 47. Projektissa käytetyt kirjastot.

Ennen ohjelmoinnin alkua oli tärkeää kirjata ylös antureiden tiedot ja numeroida valaisimet. Osoitteet on hyvä merkitä myös sen jälkeen, kun ne ovat annettu ja mahdollisesti lisätä myös himmennuksen muuttujan nimi. Taulukkoon 9 on kirjattu tarvittavat tiedot, mistä voidaan tarkistaa esimerkiksi vikatilanteessa halutut tiedot.

Taulukko 9. Antureiden ja valaisimien tiedot.

Valaisin nro	Osoite	Anturi nro	Anturi ID	Heksaluku
1	5	1	92574229	5849215
2	2	2	92574923	58494CB
3	1	3	92574242	5849222
4	4	4	92574217	5849209
5	3	5	92574911	58494BF

Ohjausta simuloitiin laboratorioluokassa rakentamalla vastaava kytkentä. Kuvassa 48 on alue, missä anturit ovat merkattu punaisella ympyrällä ja valaisimet lähtevät kuvasta alhaalta ylös nousevassa järjestyksessä. Käytävässä voi tulla tilanne, että ei tiedä mihin suuntaan ihminen menee milloin täytyy sytyttää useampi valaisin. Simuloinnissa oli yksi ryhmä ja kolmea valaisinta ohjattiin yksittäisinä. Valaisimet eivät ole poissa päältä, vaikka liikkettä ei olisi, vaan anturin tunnistessa valaisimen teho nostettaisiin haluttuun arvoon.



Kuva 48. Simulointiympäristö laboratorioluokassa ja oikealla käytävä mihin mallinnettu.

Ohjelmaan tehtiin erikseen huoltokytkin, milloin valaisimet menevät maksimi arvoon ja palautuvat automaattille, kun huoltokytkin on poissa päältä. Ainoa tapa ohjata itse on laittaa manuaaliohjaus päälle, jolla voidaan testata esimerkiksi tietyn valaisimen toimintaa ja selvittää eri vikatilanteita. Huoltomoodin toteutus oli yksinkertainen, sillä ne sen ehto on voimakkain muuhun ohjelmaan nähden ja oli helppo toteuttaa IF-lausekkeella (kuva 49).

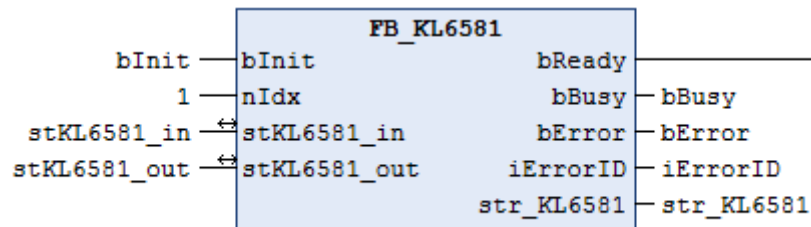


```
// Huoltokytin, ehtona että manuaali ohjaus ei saa olla päällä.
IF Dali.bHuolto = TRUE AND Dali.bManual = FALSE THEN
    Dali.nDimmValueS1 := 254;
    Dali.nDimmValueS2 := 254;
    Dali.nDimmValueGR1 := 254;
    Dali.nDimmValueS3 := 254;
    Dali.nDimmValueS4 := 254;
    Dali.nAllOff := FALSE;
END_IF
```

Kuva 49. Huoltomoodin ohjelma.

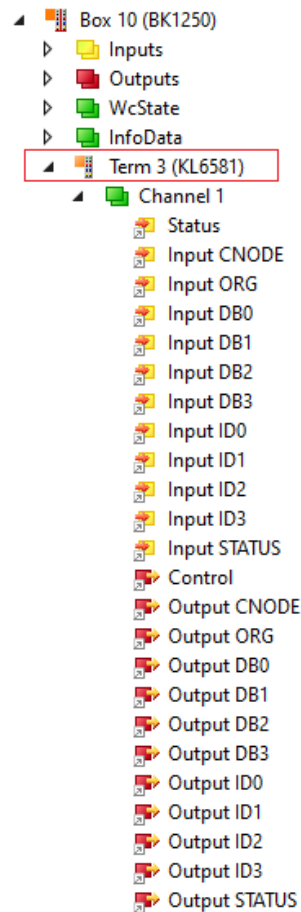
### 15.1 EnOcean-kortin ja laitteiden määrittäminen

EnOcean-kortti täytyy määrittellä kutsumalla kommunikointi toimilohko FB\_KL6581. Tätä toimilohkoa voidaan kutsua vai yhden kerran KL6581:ää kohden. Kuvassa 50 on esitelty toimilohko, missä näkyy tarvittavat muuttujat. Toimilohko käynnistetään, kun kohta bInit saa positiivisen pulssin, mikä täytyy olla päällä aina, että toimilohko toimii ja se voidaan jo muuttujana määrittellä tilaan tosi eli päällä. Idx-numero täytyy olla uniikki jokaisella KL6581-toimilohkolla. Tässä projektissa niitä oli vain yksi, mutta niitä voisi olla yhdessä ohjelmassa jopa 64. Kun toimilohko on käynnissä bReady antaa käynnistys signaalin, jota käytetään kaikissa EnOcean-toimilohkoissa.



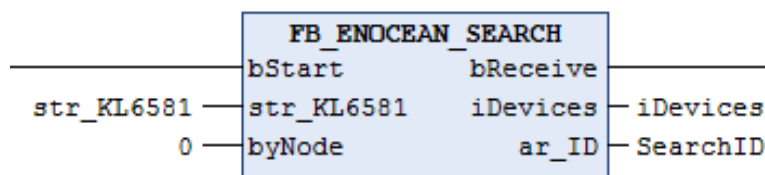
Kuva 50. Toimilohko FB\_KL6581.

Datan rakenne on str\_KL6581, joka löytyy kirjastosta valmiina, mutta täytyy kutsua muuttujana aluksi ja yhdistää se siihen. Tämän rakenteen avulla ohjelma voi lähettää ja vastaanottaa tietoja eri toimilaitteilta. Input ja output portit pitää erikseen vielä linkittää kuvan 51 mukaisesti korttiin KL6581. Ilman linkityksiä EnOcean-toimilohko ei voi lähettää tai vastaanottaa dataa.



Kuva 51. I/O-linkitykset korttiin KL6581.

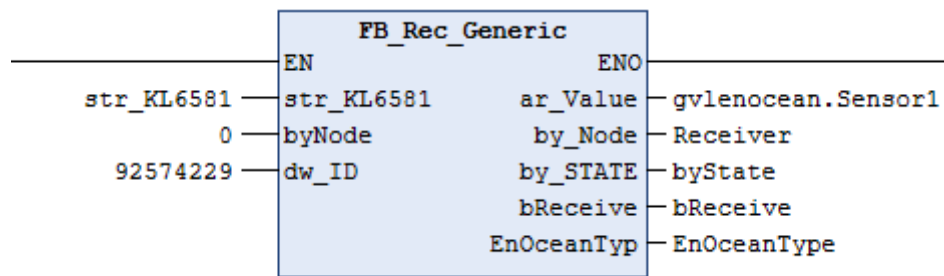
EnOcean-laitteet voidaan hakea toimilohkolla `FB_ENOCEAN_SEARCH`, mikä näyttää kaikki löydettyt laitteet taulukossa. Laitteiden ID:t ovat heksadesimaaleja, mutta toimilohko esittää ne desimaalina ja niitä käytetään myöhemmin, kun määritellään jokainen laite. Kuvassa 52 on toimilohko ja arvot ovat talletettu taulukkoon `SearchID` ja `iDevices` kertoo laitteiden määrän. Toimilohko voidaan myös asettaa jokaiselle KL6583 lähetin-vastaanottimelle erikseen ja lukea vain sen vastaanottamaa dataa. Tämä suoritetaan asettamalla arvo yhden ja kahdeksan välillä kohtaa `byNode`. Arvon ollessa nolla kaikki laitteet löytyvät yhdellä toimilohkolla.



Kuva 52. Toimilohko EnOcean-laitteiden etsimiseen.

Liiketunnistimet määritetään toimilohkolla `FB_Rec_Generic`, mikä vastaanottaa tiedot ja tallentaa ne taulukkoon. Taulukko on tallennettu globaali muuttujalistaan, mistä sitä voidaan hyödyntää useammassa ohjelmassa. Taulukko voi vastaanottaa maksimissaan neljä arvoa ja ne täytyy selvittää

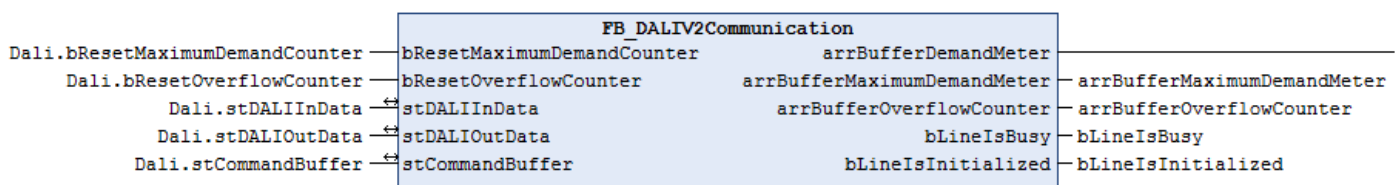
erikseen mitä arvot vastaavat oikeasti. Taulukon arvoja hyödynnetään vasta myöhemmin ohjelmassa. Kuvassa 53 on toimilohko, missä on valmiiksi annettu anturin ID.



Kuva 53. EnOcean-antureiden toimilohko.

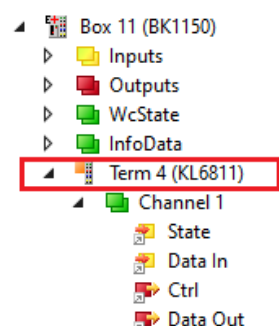
## 15.2 DALI-kortin ja laitteiden määrittys

Vastaavasti DALI-kortti täytyy määritellä ensin ja se tapahtuu toimilohkolla FB\_DALIV2Communication (kuva 54). Ilman kommunikointi toimilohkoa ei voi saada DALI-laitteita toimimaan. DALI-komennot tallennetaan muuttu-jaan stCommandBuffer, jota voi olla yksi jokaista DALI-korttia kohden. Myöhemmin määritellään toimilohkoille prioriteetti (low, middle ja high) minkä avulla ne käsitellään kommunikointi toimilohkossa. Kommunikointi toimilohkoa täytyy kutsua muita tiheämmin, siksi siitä tehtiin oma task, jonka sykli oli 2 ms.



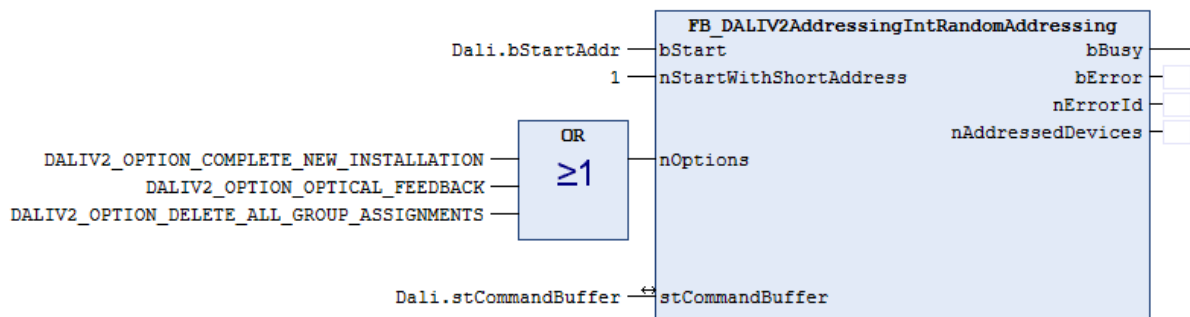
Kuva 54. DALI kommunikointi toimilohko.

DALI tarvitsee myös input ja output tiedon, mitkä sisältyvät omiin raken-teisiin. Ne täytyy linkittää kuvan 55 mukaisesti ja rakenteeseen sisältyy muuttuja nDummy, jota ei tule linkittää. Ilman linkitystä ohjelma ei saa yh-teyttä DALI-laitteisiin.



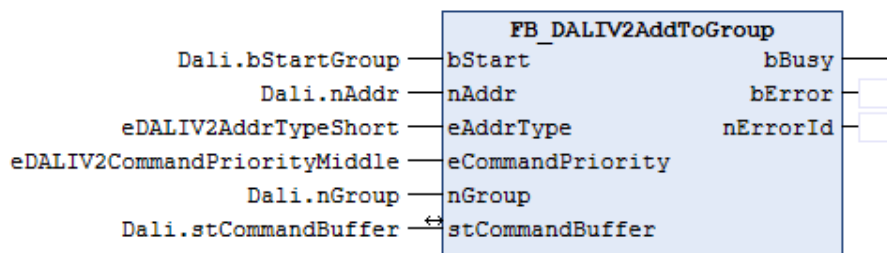
Kuva 55. I/O-linkitykset korttiin KL6811

DALI-laitteille annetaan osoitteet käyttäen satunnaista osoitteiden jakoa toimilohkolla FB\_DALIV2AddressingIntRandomAddressing (kuva 56). Käyttäjä ei pysty vaikuttamaan osoitteiden järjestykseen. Osoitteet alkavat mistä käyttäjä määrittää niiden alkavan, kuitenkin se täytyy olla välillä 0 ja 64. Se määritellään kohdassa nStartWithShortAddress ja projektissa ne määritettiin alkamaan numerosta yksi. Tämän lisäksi kohta nOptions vaatii ehtoja osoitteiden antamiseksi, jotka yhdistetään TAI operaattorilla. Nämä arvot ovat vakioita ja ne sisältyvät DALI-kirjastoon. Projektissa ehdoksi annettiin täysin uusi asennus, visuaalinen palaute ja kaikkien ryhmien poisto. Neljäs ehto mitä tässä ei ole käytössä poistaisi kaikki scenet. Kohta nAddressedDevices näyttää kuinka monta osoitetta ohjelma antoi. Toimilohko käynnistetään kohdassa bStart, mikä tulee tehdä vain kerran, ellei halua tehdä suuria muutoksia tai lisätä laitteita. Kun toimilohko käynnistyy, niin DALI-laitteiden vanhat tiedot poistetaan eikä sitä voi keskeyttää. Osoitteita annettaessa valaisimet menevät minimi arvoon ja valaisin käy maksimi arvossa, kun osoite on annettu ja tämän jälkeen se sammuu. Tällä visuaalisella toiminnolla voidaan kirjata ylös kunkin valaisimen osoite.



Kuva 56. DALI-osoitteiden määrittäminen.

Valaisimet määritetään ryhmiin toimilohkolla FB\_DALIV2AddToGroup (kuva 57) ja se tehdään vasta sen jälkeen, kun valaisimille on annettu osoitteet. Ryhmät tallennetaan muuttujaan nGroup ja sitä käytetään erikseen, kun halutaan ohjata ryhmänä eikä yksittäisenä. Kohtaan nAddr täytyy laittaa valaisimen osoite, jotta ohjelma tietää mille valaisimelle antaa ryhmä. Toimilohko käynnistetään bStart ja se täytyy myös nollata, kun on antanut ryhmän. Tämän jälkeen täytyy vaihtaa eri valaisimen osoite ja käynnistää uudelleen niin saadaan valaisimet samaan ryhmään.

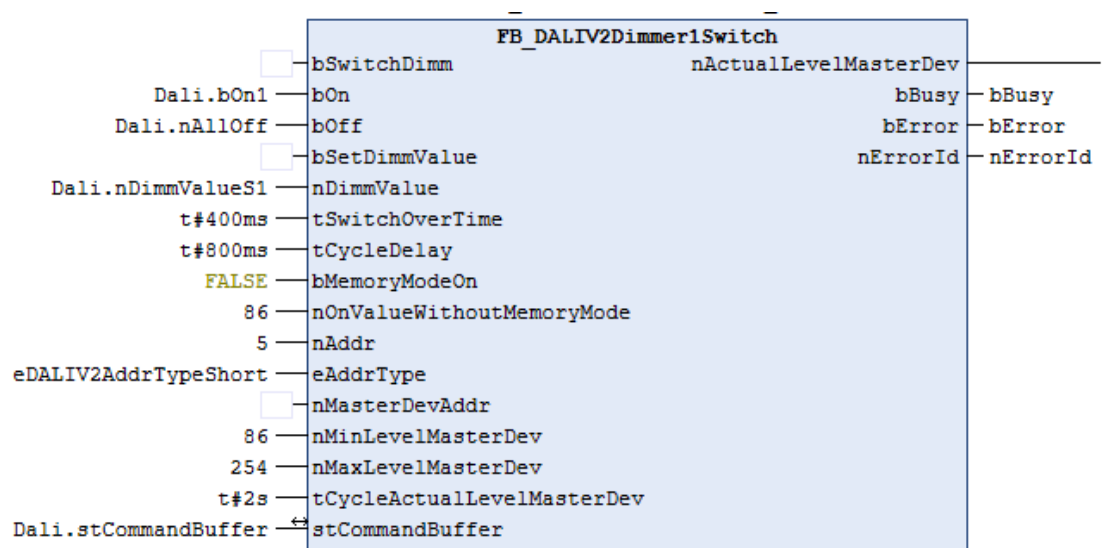


Kuva 57. DALI-ryhmän lisääminen.

Valaisimia voidaan ohjata useiden eri kytkin toimilohkojen avulla ja ohjelmaan täytyy valita käyttötarkoitukseen sopeutuva. Kuvassa 58 on projektiin valittu FB\_DALIV2Dimmer1Switch, sillä pystytään ohjaamaan himmennuksen avulla hyvin eri valaisimia. Tällä kytkimellä on eri tapoja ohjata valaistusta, missä kuitenkin kaikki perustuvat himmennysarvon säätämiseen. Kytkimellä on myös mahdollista ohjata jopa kokonaista DALI-linjaa, yksittäisiä valaisimia tai ryhmiä. Kytkimelle täytyy kertoa mitä sen halutaan ohjaavan valitsemalla eAddrType vakio. Yksittäisiä valaisimia ohjataan vakiolla short, ryhmiä vakiolla group ja broadcast eli lähetys ohjaa kokonaista DALI-linjaa. Mikäli kytkin ohjaa ryhmää täytyy ryhmälle asettaa oma master-laite. Yksittäisille valaisimille ei tarvitse erikseen määrittää master-laitetta. Kytkimelle täytyy määrittää myös osoite, mikä annetaan ohjelman alussa.

Yksinkertaisin ohjaus on bOn ja bOff, ne toimivat päälle ja pois kytkiminä ja niihin liittyy muisti toiminto. Muistitoiminnon ollessa päällä ohjelma muistaa viimeisimmän arvon, kun valaisin sammutetaan ja valaisin menee siihen arvoon, kun se sytytetään uudelleen. Jos muisti ei ole käytössä valaisin menee aina maksimi arvoon, kun se sytytetään. Tähän voidaan myös vaikuttaa asettamalla arvo manuaalisesti kohdassa nOnValueWithoutMemoryMode.

Valaistusta himmennetään arvolla nDimmValue, milloin valaisin muuttaa arvoa aina siihen, kun se on päällä. Arvot täytyy olla välillä 86 ja 254, mitkä ovat valaisimen minimi ja maksimi arvot. Ainoa poikkeus on arvo nolla, milloin valaisin sammuu. Valaisin voidaan myös asettaa heti haluttuun arvoon valaisimen ollessa pois päältä antamalla signaali bSetDimmValue. Kytkintä ei siis varsinaisesti sammuteta tällä, vaikka arvo olisi nolla.



Kuva 58. Kytkin toimilohko valaistuksen ohjaukseen.

Valaistuksen himmennystä säädettiin eri aliohjelmasta, mikä toteutettiin ST-kielellä. Näin pystytään tekemään eri vertailuja helpommin ja pystytään

tekemään tarkempia ohjauksia. Kuvassa 59 on yhden valaisimen säätö, milloin anturin tunnistettua liikettä valaisin ohjataan haluttuun himmennysarvoon, mikä mittauksissa todettiin olevan 225. Kun anturi ei tunnista liikettä himmennysarvo palaa takaisin alkuarvoon 105. Jokaisella valaisimella oli oma anturi, pois lukien valaisimet kolme ja neljä, mitä ohjattiin ryhmäohjauksena.

```
// Himmennyksen säätö jokaiseen valaisimeen
//Ohjelmassa ei ole omia muuttujia, vaan kaikki luetaan globaali listoista.

// ANTURI 1

IF gvlenocean.Sensor1[0] = 15 AND Dali.bHuolto = FALSE AND Dali.nAlloff = FALSE AND Dali.bManual = FALSE THEN
    Dali.nDimmValueS1 :=105;
END_IF
IF gvlenocean.Sensor1[0] = 13 AND Dali.bHuolto = FALSE AND Dali.nAlloff = FALSE AND Dali.bManual = FALSE THEN
    Dali.nDimmValueS1 :=225;
END_IF
```

Kuva 59. Himmennyksen säätö.

### 15.3 Mittausohjelma

Valaisimien tehon kulutusta seurattiin omassa aliohjelmassa, missä arvot luetaan suoraan EL3433-kortin kanavasta kolme. Kortilla mitattiin jännitettä, virtaa ja tehoa. Jokaiselle tehtiin omat muuttujat globaali muuttujalistaan ja ne muutettiin laskutoimituksella erikseen luettaviksi arvoiksi. Arvot ovat pääteltävissä ilman muunnosta, mutta se on huomattavasti helpompaa skaalata numerot.

Antureissa oli myös paristo ja niiden jännitettä haluttiin seurata myös ja tulostaa käyttäjälle viestiä, kun se arvo alittaa tietyn lukeman. Tällä voidaan varmistaa anturin toimivuus ja vaihtaa paristo ennen kuin se on tyhjentynyt. Pariston jännitearvo luetaan anturin antamasta taulukosta ja muunnetaan oikeaksi arvoksi. Tätä lukemaa verrataan omaan muuttujaan, jonka arvo täytyy vain muuttaa pariston mukaisesti, milloin se ei anna enää tarvittavaa virtaa. Ohjelma on esitetty kuvassa 60 ja kaikkien antureiden jännitettä verrattiin samanlailla.

```

// Muunnetaan mitatut arvot luettaviksi
VoltageReal := gvlmeasurement.Voltage * 0.0001;
CurrentReal := gvlmeasurement.Current * 0.0001;
PowerReal := gvlmeasurement.Power * 0.01;

//Anturin pariston arvojen muuttuminen
BatterySensor1 := gvlenocean.Sensor1[3] * 0.02;
BatterySensor2 := gvlenocean.Sensor2[3] * 0.02;
BatterySensor3 := gvlenocean.Sensor3[3] * 0.02;
BatterySensor4 := gvlenocean.Sensor4[3] * 0.02;
BatterySensor5 := gvlenocean.Sensor5[3] * 0.02;

//Verrataan pariston nykyistä arvoa minimiarvoon

IF BatterySensor1 <= BatteryMin THEN
    Sensor1Low := TRUE;
ELSE
    Sensor1Low:= FALSE;
END_IF

```

Kuva 60. Valaisimien tehon ja antureiden pariston jännitteen mittaus.

Ohjelman toiminnan kannalta mittaukset eivät ole tärkeitä, mutta näin saadaan oleellista tietoa järjestelmästä. Näitä arvoja voidaan myös tallentaa esimerkiksi csv-tiedostoon ja analysoida myöhemmin.

## 15.4 Aikaohjaus

Aikaohjauksella voidaan säätää valaistusta tarpeen mukaisesti. Sitä varten suunniteltiin aktiivijat, milloin valaistus on aina päällä tietyssä arvossa, vaikka liikettä ei ole. Kuitenkin halutaan valaistuksen syttyvän myös aktiivijan ulkopuolella liikkeentunnistuksesta. Taulukossa 10 on esitelty aktiivijat, jotka perustuvat nykyiseen kulkuun rakennuksessa. On oleellista aloittaa aikaohjaus ennen tuntien alkamista aamusta ja lopettaa se vasta normaali työajan jälkeen.

Taulukko 10. Suunnitellut aktiivijat

Päivä	Päälle	Pois
maanantai	7:30	18:00
tiistai	7:30	18:00
keskiviikko	7:30	18:00
torstai	7:30	18:00
perjantai	7:30	21:00
lauantai	7:30	18:00
sunnuntai	off	off

Aikaohjaus voidaan toteuttaa Beckhoffin omalla viikkoajastimella. Yhdellä toimilohkolla voidaan määrittää vain yksi aikaväli, mutta niitä voi olla useita eri aikaväleihin. Kyseinen toimilohko on FB\_WeeklyTimeSwitch ja toimilohkolle luetaan aika tietokoneelta omalla funktiolla. Tällä voidaan

toteuttaa yksinkertaisia aikaohjauksia, jotka eivät välttämättä ole pidemmän ajan kannalta viisaita vaan pitäisi ohjata tarkemmin ottaen huomioon eri kuukaudet ja vuodenajat.

Jotta aikaohjauksen saa toimimaan täytyy hakea järjestelmälle aika, mikä voidaan toteuttaa `FB_LocalSystemTime`. Se ottaa kellonajan paikallisen käyttöjärjestelmän ajasta, jota täytyy synkronisoida tihein aikavälein ajassa pysymisen vuoksi. Funktio esittää ajan `TIMESTRUCT`-rakenteen mukaisesti mikä on taulukossa 11. Näin ohjelmaa voidaan ohjata jopa vuositasolla ja ottaa huomioon eri pyhäpäivät. Yksinkertaisimmillaan ohjelma voidaan toteuttaa IF-lausekkeilla, mutta mitä enemmän ehtoja laittaa sitä monimutkaisempaa ohjauksesta tulee.

Taulukko 11. `TIMESTRUCT` rakenne. (Beckhoff, n.d.)

Muuttuja	Yksikkö	Alue
wYear	The year	1970 ... 2106
wMonth	The month	1 ... 12 (January = 1, February = 2 etc.)
wDayOfWeek	The day of the week	0 ... 6 (Sunday = 0, Monday = 1 etc.)
wDay	The day of the month	1 ... 31
wHour	Hour	0 ... 23
wMinute	Minute	0 ... 59
wSecond	Second	0 ... 59
wMilliseconds	Millisecond	0 ... 999

## 16 YHTEENVETO

Työtä lähdettiin tarkastelemaan rakennusautomaation kautta, sillä samoja asioita voidaan soveltaa pelkässä valaistuksessa. Langaton tekniikka ja valaistuksen ohjausprotokolla sekä PLC valittiin niin, että ne ovat yhteensopivia ja vastasivat toimeksiantajan vaatimuksia. Suunnitelmasta saatiin energiatehokas käyttämällä adaptiivisen valaistuksen ohjausta sekä LED-tekniikkaa. Valaistusvaatimuksien avulla varmistettiin oikea valon määrä eri tiloissa. Tällä hetkellä rakennus kuuluu standardi SFS-EN 15323 mukaan luokkaan C, sillä rakennuksessa on vain automaatti poiskytkentä valaisimille illasta.

Yksi työn tavoitteista oli saada valaistuksesta mahdollisen reaaliaikainen. Simulointiohjelmassa tämä saatiin ohjelmallisesti toimimaan, mutta anturi lähetti tietoa liian suurella aikavälillä ja tämän takia tieto ei ollut enää reaaliaikaista. Lopputuloksena ohjelma saatiin toimimaan niin, että valaisimet ovat päällä vähintään kaksi minuuttia liikkeentunnistuksesta. Ohjaus toimii täysin automaattisena eikä käytävällä ole kytkimiä.



Vaikka suunnitelmaa ei toteutettaisi rakennukseen, niin opinnäytetyön aikana saatiin paljon kiinnostavaa ja tärkeää mittaustietoa. Mittauksia tehtiin valaisimen tehoon ja valovoimakkuuteen liittyen. Mittauksissa opittiin valaisimen himmennuksen suuri vaikutus tehonkulutukseen ja energiatehokkuuteen.

Tutkimuksissa selvisi selkeä ero Lux-mittarin ja DIALux-tuloksien välillä. Tämä tarkoittaa sitä, että valaisimien kirkkautta ei voi asettaa DIALuxin antamien himmennystulosten avulla. Sen sijaan Lux-mittarin avulla mitatut konkreettiset tulokset verrattaessa valaisimen himmennystä tehon määrään, voidaan hyödyntää valaisimen kirkkautta asettaessa. Liitteissä 1-6 olevien DIALuxin antamat tulokset ovat arvoja, joihin pyritään suunnittelutilassa pääsemään. Tämä pitää tarkistaa vielä mahdollisessa asennusvaiheessa Lux-mittarilla. Jos halutaan hyödyntää anturin antamaa Lux-tietoa, tämä pitää tarkistaa vasta asennuksen jälkeen. Anturi ei tunnistanut valaisimien antamaa valoa kovin tarkasti ja tämän takia on hankala arvioida oikeaa Lux-määrää, jos halutaan tällä tiedolla ohjata valaisinta.

Ohjausta testattaessa huomattiin, että Eltakon EnOcean-anturi ei aina tunnistanut liikettä, vaikka anturin alueella oli liikettä. Välillä myös vastaanotin kadotti anturin ID:n tai anturi ei antanut tunnistamisen jälkeen tietoa oliko alueella ei ole ketään, joten valaisimet jumittuivat tiettyyn kirkkausasteeseen. Nämä ongelmat korjaantuivat, kun anturin otti pois katosta ja painoi learn-painiketta. Näiden teknisten ongelmien lisäksi, kyseisiä antureita tarvittaisiin aivan liian monta, että suunnitelma olisi järkevä. Jos suunnitelma toteutetaan, kannattaa tilata EnOcean-liiketunnistin anturit, joiden tunnistusalue on laajempi kuin 2,5 m säde. Vaihtoehtoisesti voidaan valita langalliset liikkeentunnistimet, pidemmällä tunnistusalueella.

Ongelmaksi suunnitelmassa todettiin myös DIALuxin ja CADMATIC-ohjelman välinen tiedonsiirron mahdottomuus. DIALux tallentaa ohjelman evo. muotoon, jota CADMATIC ei tunne. Tiedoston tulee olla stf. muotoinen, jotta DIALuxissa suunnitellut valaisimen paikat sekä valaisimen tiedot siirtyvät CADMATIC-ohjelmaan. Kyseinen toiminto onnistuu vain CADMATICIN ja DIALux 4 -versiossa, mutta ei uudessa DIALux evossa. Tämän takia CADMATIC-ohjelmaan piti piirtää manuaalisesti valaisimien paikat.

## LÄHTEET

Aaltonen, J. (2017). *Valaistuksen energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät*. Opinnäytetyö. Talotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Haettu 10.2.2020 osoitteesta

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/127722/Aalto-Juha-Pekka.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Airam. (n.d.a) Valonjakokäyrä. Haettu 27.2.2020 osoitteesta

<https://www.airam.fi/fi/tuote/v5697-1856/4509996/kappa-p-9w-840-ant/127/1>

Airam. (n.d.b). Valonjakokäyrä. Haettu 15.1.2020 osoitteesta

<https://www.airam.fi/fi/tuote/v6921-6069/4289993/plata-40w-840-va-da/123/1>

Airam. (n.d.c). Valonjakokäyrä. Haettu 15.1.2020 osoitteesta

<https://www.airam.fi/fi/tuote/v6921-8725/4209528/plata-40w-840-mp-va-da/123/1>

Airam. (n.d.d). PLATA 40W/840 MP VA DA. Haettu 6.3.2020 osoitteesta

<https://www.airam.fi/fi/tuote/v6921-8725/4209528/plata-40w-840-mp-va-da/123/1>

Allard Jacquin, P., Colle, P. & Thonet, G. (2008). Zigbee – WiFi Coexistence.

Haettu 24.1.2020 osoitteesta [http://vip.gatech.edu/wiki/images/8/8e/Zigbee WiFi Coexistence - White Paper and Test Report.pdf](http://vip.gatech.edu/wiki/images/8/8e/Zigbee_WiFi_Coexistence_-_White_Paper_and_Test_Report.pdf)

Beckhoff. (2019). KL6581 and KL6583. Haettu 26.3.2020 osoitteesta

[https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/kl6581\\_kl6583en.pdf](https://download.beckhoff.com/download/document/io/bus-terminals/kl6581_kl6583en.pdf)

Beckhoff. (n.d.). TIMESTRUCT. Haettu 24.3.2020 osoitteesta [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../con-](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_utilities/9007199290134027.html&id=)

[tent/1033/tcplclib tc2 utilities/9007199290134027.html&id=](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcplclib_tc2_utilities/9007199290134027.html&id=)

Educba. (n.d.). What is PLC. Haettu 23.2.2020 osoitteesta

<https://www.educba.com/what-is-plc/>

Elprocus. (n.d.). ZigBee wireless technology architecture and applications.

Haettu 30.1.2020 osoitteesta <https://www.elprocus.com/what-is-zigbee-technology-architecture-and-its-applications/>

Eltako Electronics. (2017). Tap-Radio motion/brightness sensor manual.

EnOcean. (2016). The World of energy harvesting wireless technology. Haettu 15.3.2020 osoitteesta <https://www.enocean.com/en/technology/white-papers/>

Ensto. (n.d.). Valovoima. Haettu 15.1.2020 osoitteesta <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojak-sot/0705016/1228387313247/1228397989485/1228398034451/1228398112158.html>

Fagerhult. (n.d.a). DALI – standardisoitu digitaalinen valonohjausprotokolla. Haettu 15.3.2020 osoitteesta <https://www.fagerhult.com/fi/Valaistustietoutta/lighting-control/Control-methods/dali/>

Fagerhult. (n.d.b). Led-valaisimien elinikä. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://www.fagerhult.com/fi/osaamiskeskus/LED/Led-valaisimien-elinika/>

Glamox Luxo Lighting. (2013). 10 asiaa, jotka sinun tulee tietää ledeistä. Haettu 20.1.2020 osoitteesta [https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi\\_singlepages-2.pdf](https://glamox.com/upload/2013/09/26/fi_singlepages-2.pdf)

Great Basin Lighting. (2018). See how adaptive #lighting tech saves cities even more with #LED: bit.ly/2rUMzG8 via @ledprofessional. Twitter päivitys 25.12.2018. Haettu 29.1.2020 osoitteesta <https://twitter.com>

Homey. (n.d.). ZigBee explained – What is ZigBee. Haettu 25.1.2020 osoitteesta <https://homey.app/en-au/wiki/what-is-zigbee/>

Kallioharju, K. (2012). *DALI-koulutus, teoriaosio*. Talotekniikka. Tampereen ammattikorkeakoulu. Haettu 27.12.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/2189683-Dali-koulutus-teoriaosio.html>

knx. (n.d.). Älykästä taloautomaatiota KNX-tekniikalla. Haettu 6.1.2020 osoitteesta <http://www.knx.fi/index.php?k=220418>

Lampputieto. (n.d.a). VALOVOIMA - KANDELA. Haettu 15.1.2020 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/kandela-valovoima/>

Lampputieto (n.d.b). VALAISTUSVOIMAKKUUS – LUKSI. Haettu 15.1.2020 osoitteesta <https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/luksi-valaistusvoimakkuus/>

Lampputieto (n.d.c). VALON MÄÄRÄ – LUMEN-ARVO. Haettu 15.1.2020 osoitteesta  
<https://lampputieto.fi/lampun-valinta/lamppujen-ominaisuuksia/lumen-valon-maara/>

Liikkeellä. (2019). Hyödynnä kaukovaloavustin pimeäajossa. Haettu 29.1.2020 osoitteesta  
<https://liikkeella.fi/auton-kaytto-ja-huolto/hyodynnä-kaukovaloavustin-pimeäajossa/>

Kallioharju, K & Harsia, P. (2015). *Valaistuksen energiatehokkuuden tekijät*. Tampereen ammattikorkeakoulu Haettu 10.2.2020 osoitteesta  
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/87613/FInZEBvalaistus-selvitys.pdf?sequence=1>

Motiva. (2017). Valaistus. Haettu 13.2.2020 osoitteesta  
[https://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori/kiinteiston\\_energiankaytto/valaistus](https://www.motiva.fi/julkinen_sektori/kiinteiston_energiankaytto/valaistus)

new.abb. (n.d.). Tiedonsiirto väyläkaapelissa. Haettu 28.1.2020 osoitteesta  
<https://new.abb.com/low-voltage/fi/tuotteet/kiinteistoautomaatio-koti-automaatio/ratkaisut/knx/jarjestelma/asennus>

Pihlajaniemi, H. (2016). *Designing and experiencing adaptive lighting*. Väitöskirja. Acta Universitatis Ouluensis. Haettu 29.1.2020 osoitteesta  
<http://jultika.oulu.fi/files/isbn9789526210902.pdf>

Rautiainen, K. Jalo, T. Husu, T. & Heilä, S. (2018). Energiatehokkuus. Haettu 13.2.2020 osoitteesta <https://www.ymparisto.fi/fi/FI/Rakentaminen/Korjaustieto/Taloyhtiot/Energiatehokkuus>

Saarelainen, J. (2019). Opetustilojen valaistusvaatimukset. Haettu 16.1.2020 osoitteesta  
<https://www.winled.fi/blogi/artikkeli/Valaistusvoimakkuudet-teollisuudessa-ja-kodin-eri-tiloissa>

Salmela, T. (2016). *DALI-valaistuksenohjausjärjestelmän kustannusselvitys*. Opinnäytetyö. Talotekniikan koulutusohjelma. Oulun ammattikorkeakoulu. Haettu 27.1.2020 osoitteesta  
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108865/Salmela\\_Tiina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/108865/Salmela_Tiina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ST 58.09 (2003). Ulkovalaistus. Sähkötieto ry. Haettu 17.1.2020 osoitteesta  
<https://severi.sahkoinfo.fi/item/663?search=ulko>

ST 58.31 (2016). Valonlähteiden säätö ja ohjaus. Sähkötieto ry. Haettu 31.1.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/item/492>

ST 98.50 (2016). Energiatehokkuus vaatimusten huomioiminen rakennusten sähkö- ja tietoteknisten järjestelmien käytössä ja kunnossapidossa. Sähköinfo ry. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/Item/3994>

ST 682.10 (2018). Tietoteknisten järjestelmien integrointi. Sähkötieto ry. Haettu 24.1.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/item/772?search=682.10>

ST 701.57 (2016). Langattomien tiedonsiirtoverkkojen hyödyntäminen kiinteistön hallintajärjestelmissä. Sähkötieto ry. Haettu 17.1.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/Item/3601>

Stables J. (2019). Zigbee explained. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://www.the-ambient.com/guides/zigbee-devices-complete-guide-277>

Sähkökonsultti Ojala Oy. (2019). Mitä KNX-väyläohjelmointi tarkoittaa? Haettu 6.1.2020 osoitteesta <http://www.sahkokonsultti.com/knx>

Sähkötieto ry (2017). *ST-käsikirja 21 Kiinteistöjen tiedonsiirtoväylät*. 2. painos. Helsinki: Painokurki Oy. Haettu 16.1.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/item/231?search=kiinteistojen%20tiedonsiirto>

Sähkötieto ry (2018). *ST-käsikirja 17 Rakennusautomaatio järjestelmät*. 6. painos. Tampere: Grano Oy. Haettu 16.1.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/item/234?search=rakennusautomaatio%20jarjestelmat>

Sähkötieto ry (2019). *ST-käsikirja 23 KNX-järjestelmän perusteet*. 3. painos. Tampere: Grano Oy. Haettu 25.2.2020 osoitteesta <https://severi.sahkoinfo.fi/item/5858?search=knx>

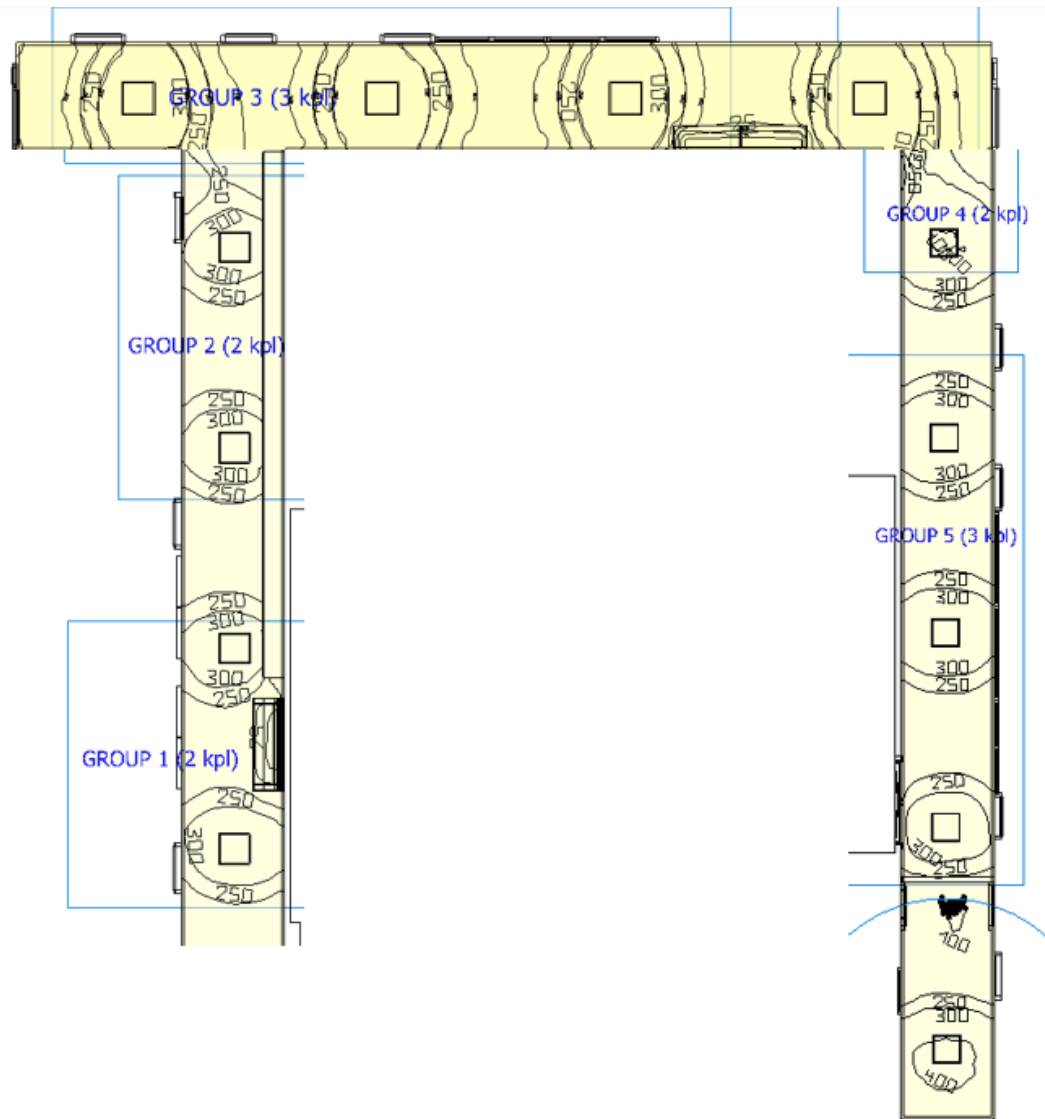
Työ- ja elinkeinoministeriö. (n.d.). Energiatehokkuus. Haettu 13.2.2020 osoitteesta <https://tem.fi/energiatehokkuus>

Valotorni. (n.d.). Lumenit ja watit taulukkona. Haettu 16.1.2020 osoitteesta <https://www.valotorni.fi/category/573/lumenit-ja-watit>

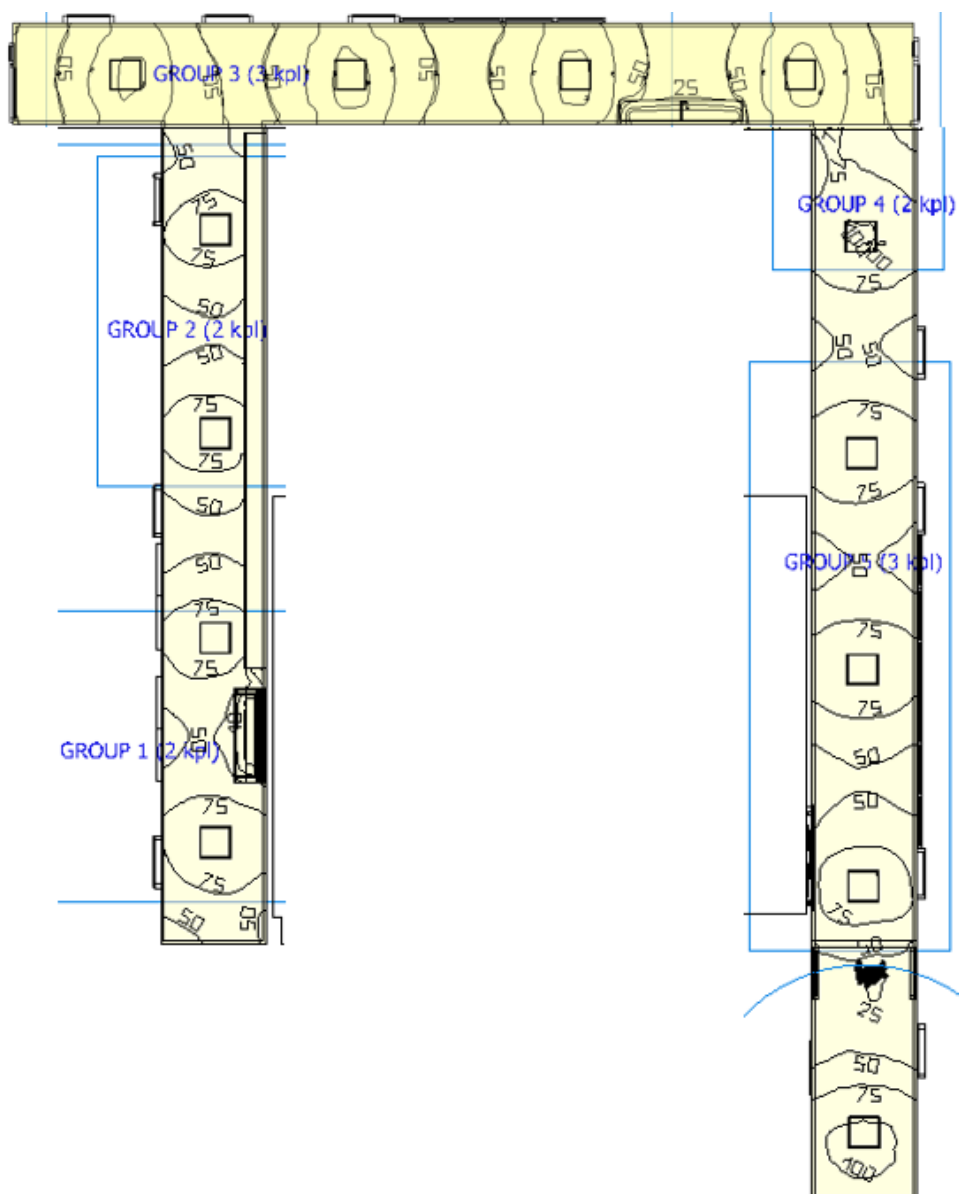
Voipio, E. (2019). *KNX-järjestelmän suunnittelu omakotitaloon*. Opinnäytetyö. Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu. Haettu 25.2.2020 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/169357/Voipio\\_Eero.pdf?sequence=2](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/169357/Voipio_Eero.pdf?sequence=2)

Voutilainen, S. (2010). *DALI -Digitaalinen valaistuksenohjausjärjestelmä*. opinnäytetyö. Sähkötekniikka. Saimaan ammattikorkeakoulu. Haettu 26.12.2019 osoitteesta [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14502/Voutilainen\\_Oskari.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/14502/Voutilainen_Oskari.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Auditorion ympärillä olevan käytävän DIALux-tulokset 80 % kirkkaudessa.

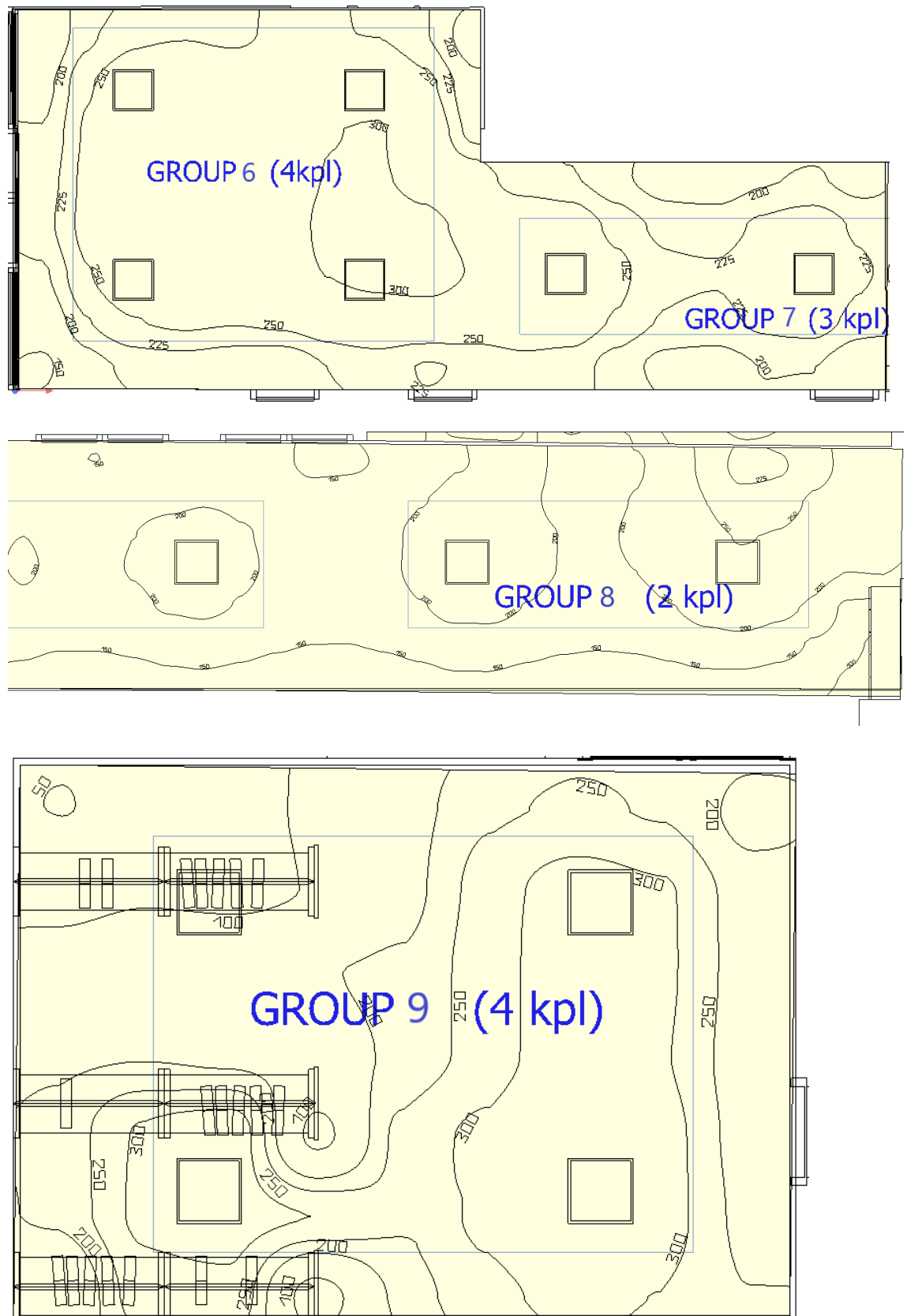


Auditorion ympärillä olevan käytävän DIALux-tulokset 20 % kirkkaudessa.

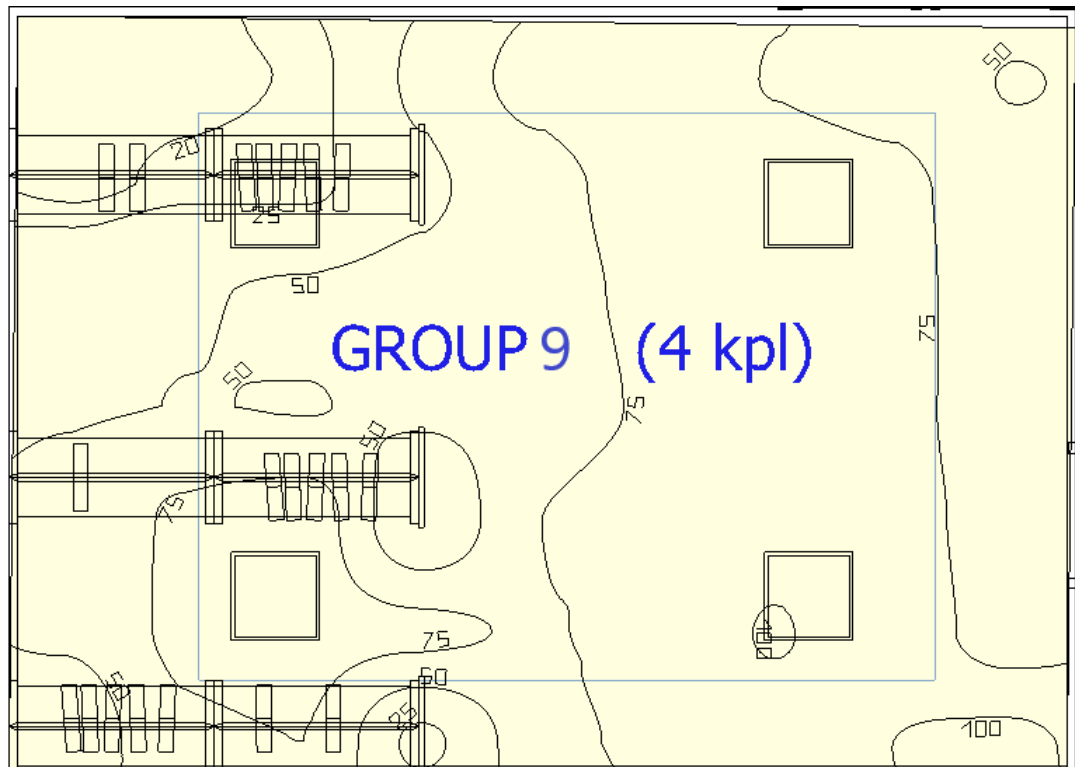
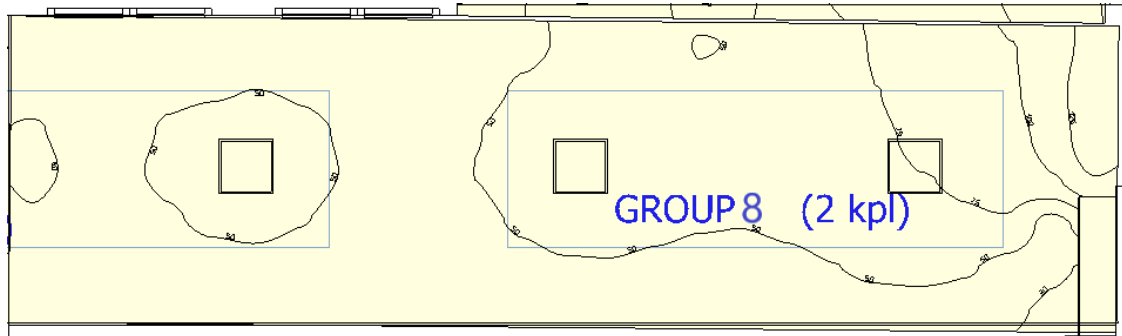
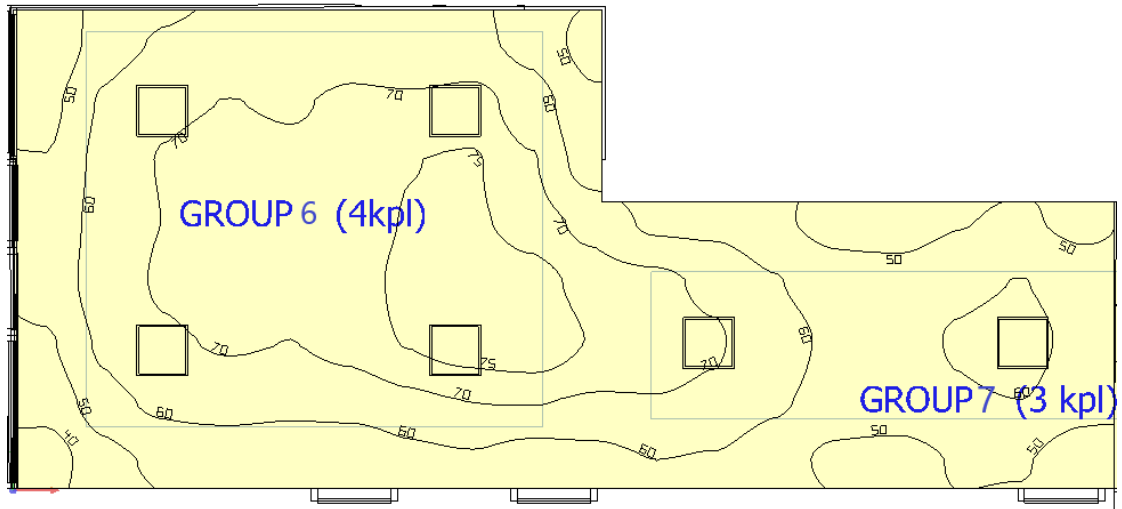




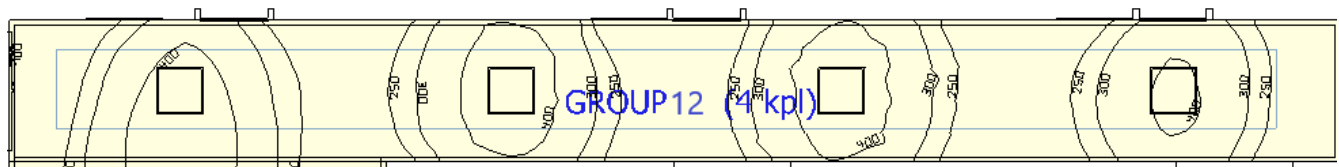
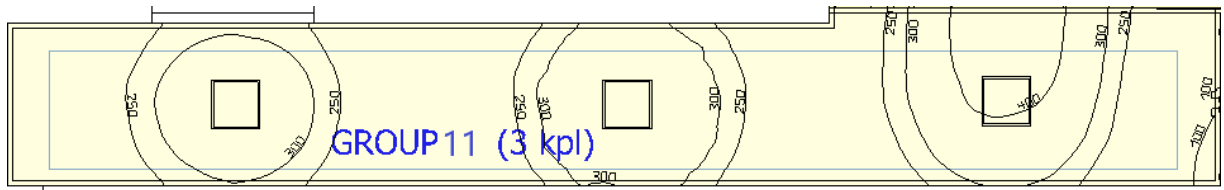
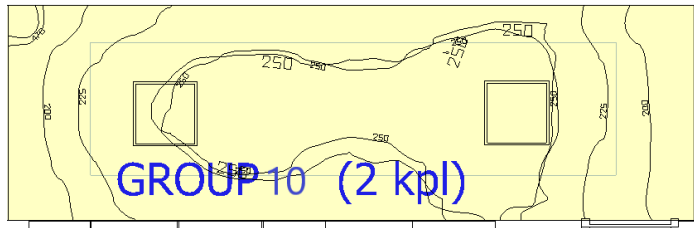
Aulan ja auditorionedustan DIALux-laskelma 80 % kirkkaudella



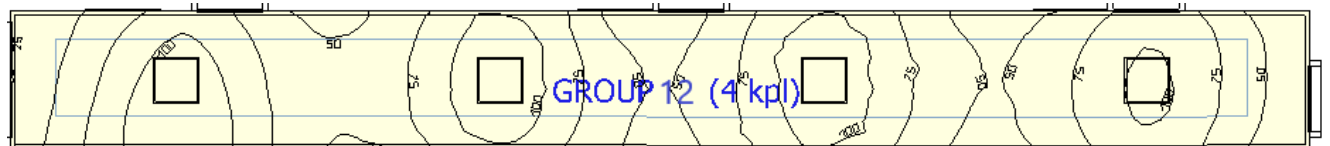
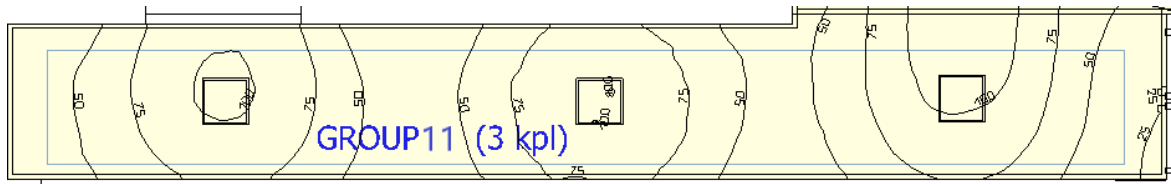
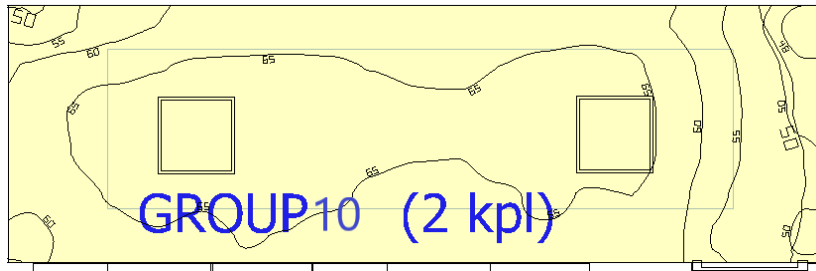
Aulan ja auditorionedustan DIALux-laskelma 20 % kirkkaudessa.



Kirjaston käytävän DIALux-laskelma 80 % kirkkaudessa.



Kirjaston käytävän DIALux-laskelma 20 % kirkkaudessa.



Valaisimen tehon mittaustaulukko.

Num arvo	% arvo	Teho (W)	Erotus seuraavaan arvoon	% maksimista
0	0	0,35	1,11	1 %
86	2,000 %	1,46	0,04	3 %
90	4,333 %	1,5	0,04	4 %
95	7,250 %	1,54	0,07	4 %
100	10,167 %	1,61	0,18	4 %
105	13,083 %	1,79	0,02	4 %
110	16,000 %	1,81	0,14	4 %
115	18,917 %	1,95	0,19	5 %
120	21,833 %	2,14	0,13	5 %
125	24,750 %	2,27	0,17	5 %
130	27,667 %	2,44	0,22	6 %
135	30,583 %	2,66	0,2	6 %
140	33,500 %	2,86	0,21	7 %
145	36,417 %	3,07	0,27	7 %
150	39,333 %	3,34	0,38	8 %
155	42,250 %	3,72	0,43	9 %
160	45,167 %	4,15	0,46	10 %
165	48,083 %	4,61	0,46	11 %
170	51,000 %	5,07	0,57	12 %
175	53,917 %	5,64	0,68	13 %
180	56,833 %	6,32	0,86	15 %
185	59,750 %	7,18	0,9	17 %
190	62,667 %	8,08	1,1	19 %
195	65,583 %	9,18	1,09	22 %
200	68,500 %	10,27	1,38	24 %
205	71,417 %	11,65	1,49	28 %
210	74,333 %	13,14	2,06	31 %
215	77,250 %	15,2	1,93	36 %
220	80,167 %	17,13	2,48	40 %
225	83,083 %	19,61	2,9	46 %
230	86,000 %	22,51	3,4	53 %
235	88,917 %	25,91	0,52	61 %
236	89,500 %	26,43	0,86	62 %
237	90,083 %	27,29	0,76	64 %
238	90,667 %	28,05	0,81	66 %
239	91,250 %	28,86	1,01	68 %
240	91,833 %	29,87	0,72	71 %
241	92,417 %	30,59	0,89	72 %
242	93,000 %	31,48	0,89	74 %
243	93,583 %	32,37	0,97	76 %
244	94,167 %	33,34	1,23	79 %
245	94,750 %	34,57	0,86	82 %
246	95,333 %	35,43	0,92	84 %
247	95,917 %	36,35	1,16	86 %
248	96,500 %	37,51	0,94	89 %
249	97,083 %	38,45	1,08	91 %
250	97,667 %	39,53	0,72	93 %
251	98,250 %	40,25	0,79	95 %
252	98,833 %	41,04	0,63	97 %
253	99,417 %	41,67	0,67	98 %
254	100,000 %	42,34	0	100 %